



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti
Risorse Naturali e Ambiente

Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

Trattamenti di post-emergenza con preparati micorrizici in frumento tenero

Relatore

Prof. *Giuliano Mosca*

Correlatore

Dott. *Cristian Dal Cortivo*

Laureando

Luca Zerbinati

Matricola n. 1084345

ANNO ACCADEMICO 2014-2015

INDICE

INDICE	III
RIASSUNTO	V
ABSTRACT	VII
1. INTRODUZIONE	1
1.1 IL FRUMENTO	1
1.1.1 Origine e diffusione	1
1.1.2 Classificazione tassonomica	3
1.1.3 Morfologia	4
1.1.4 Ciclo vegetativo e riproduttivo	6
1.1.5 Esigenze ambientali	9
1.1.6 Tecnica colturale	10
1.1.7 Componenti della resa	14
1.2 LA NUTRIZIONE DEL FRUMENTO	15
1.2.1 Esigenze nutrizionali	15
1.2.2 La fertilizzazione	16
1.3 I BIOFERTILIZZANTI	17
1.3.1 Micorrize	18
1.3.1.1 <i>Glomus intraradices</i>	20
1.3.2 Batteri azotofissatori	21
1.3.2.1 <i>Azotobacter vinelandii</i>	22
2. SCOPO DEL LAVORO	23
3. MATERIALI E METODI	25
3.1 DESCRIZIONE DELLA PROVA	25
3.2 OPERAZIONI COLTURALI	28
3.3 RILIEVI ESEGUITI	29
3.3.1 Sviluppo delle piante	29
3.3.2 Resa	32
3.3.3 Qualità della granella	34
3.4 ANALISI STATISTICA	35
4. RISULTATI E DISCUSSIONE	37

4.1 ANDAMENTO METEOROLOGICO DELLA STAGIONE	37
4.2 SVILUPPO DELLE PIANTE	38
4.2.1 Altezza delle piante	39
4.2.2 Biomassa	41
4.2.1 SPAD	42
4.2.2 NDVI	43
4.3 PARAMETRI QUANTITATIVI DI RESA	45
4.3.1 Numero di spighe	45
4.3.2 Produzione	46
4.3.3 Peso di 1000 semi	47
4.3.4 Peso ettolitrico	48
4.3.5 <i>Harvest index</i>	49
4.4 PARAMETRI QUALITATIVI DELLA GRANELLA	50
4.4.1 Proteina grezza	51
4.4.2 Glutine umido	52
4.4.3 Indice di Zeleny	53
5. CONCLUSIONI	55
6. BIBLIOGRAFIA	57

RIASSUNTO

L'agricoltura moderna ha risposto alla crescente richiesta di cibo, dovuta all'aumento esponenziale della popolazione umana degli ultimi decenni, attraverso un'intensificazione delle pratiche colturali, mirata essenzialmente a migliorare le rese unitarie. La possibilità di disporre di fertilizzanti di sintesi in grande quantità ha rivestito un ruolo fondamentale, in particolar modo per le colture cerealicole, poiché proprio la nutrizione delle piante costituisce uno dei principali fattori limitanti la produzione. L'aumento del potenziale produttivo delle colture inoltre, a cui hanno contribuito le innovazioni tecnologiche e l'ampio lavoro di miglioramento genetico, ha cercato un sostegno sempre maggiore nella concimazione di sintesi. Tuttavia nel lungo periodo l'utilizzo cospicuo di input chimici si è rivelato un costo economico ed ambientale non più sostenibile per le aziende e per gli ecosistemi, pertanto l'ottimizzazione di tali fattori produttivi risulta essere uno dei principali obiettivi. In questo contesto trova spazio il progetto di ricerca proposto e finanziato da *East Balt Europa* per valutare la possibilità di produrre grano tenero destinato al settore della panificazione industriale, riducendo l'apporto consueto di fertilizzanti azotati di sintesi. A questo scopo si è testata l'efficacia del prodotto commerciale Rhizosum-N (Biosum Technology S.L. - Madrid, Spagna), un formulato a base di micorrize del genere *Glomus* e batteri azotofissatori della specie *Azotobacter vinelandii*, nel supplire con azoto reso da loro disponibile la riduzione dell'input chimico. Durante la prova si sono valutati gli effetti del prodotto biofertilizzante su *Triticum aestivum* var. Bologna attraverso il confronto tra parcelle concimate con dosi decrescenti di azoto (160, 120, 80 e 50 kg ha⁻¹), sulle quali Rhizosum-N era stato applicato tramite irrorazione fogliare in pre-levata, e parcelle sottoposte alle stesse dosi di concimazione ma non trattate. Nell'effettuare tale comparazione sono stati presi in considerazione sia parametri riguardanti lo sviluppo delle piante (altezza dei culmi, peso della biomassa aerea, indicatori dell'attività fotosintetica) che parametri quanti-qualitativi riguardanti la resa in granella (produzione unitaria, *harvest index*, spighe m⁻², peso di mille semi e peso ettolitrico, contenuto proteico, quantità e qualità del glutine). Dall'analisi dei dati rilevati è emerso che molti dei parametri sono stati influenzati positivamente dall'applicazione di Rhizosum-N (soprattutto per quanto riguarda lo sviluppo morfo-fisiologico delle piante), con gli unici

valori statisticamente differenti rilevati solo nelle tesi concimate con la dose più bassa di azoto.

Tuttavia, complessivamente e nelle specifiche condizioni agronomiche (terreno medio-limoso, buona dotazione di nutrienti) il trattamento microbiologico di post-emergenza non ha potuto surrogare la diminuzione di concimazione azotata, e non può pertanto essere impiegato affidabilmente per ottenere le produzioni di grano tenero quanti-qualitativamente richieste dall'industria molitoria.

ABSTRACT

Due to enormous growth of human population in recent years modern agriculture had responded to an increasing food supply and demand by intensifying cultivation practices which are focused on improving crop yield. Large quantity of chemical fertilizers played an important part in crop cultivation, especially for cereal crops, because plant nutrition is one of the most limiting production factors. Increase in crop productivity is linked to technological innovations, modern plant breeding techniques, with a constant need for greater chemical fertilization support. On the other hand, overuse of chemical inputs in a long run in agriculture has been recognized as a non-sustainable economical and environmental cost in farming and in eco-systems, therefor optimization of chemical fertilizers nowadays is one of the most important aims.

This particular research was proposed and financed by *East Balt Europe* to evaluate a possibility of producing common wheat for bakery industry with reduced amounts of nitrogen. For this purpose was tested the efficacy in supplying the reduction of the chemical input by *Rhizosum-N* (Biosum Technology S.L. - Madrid, Spain), a commercial microbiological product based on mycorrhizae of *Glomus* genus and the nitrogen-fixing bacterial species *Azotobacter vinelandii*. During this field trial were evaluated the effects of this biofertilizer on *Triticum aestivum* var. Bologna through a comparison between plots fertilized with decreasing N-doses (160, 120, 80 and 50 kg ha⁻¹) treated with Rhizosum-N by foliar spraying before stem elongation and plots with the same N-doses added but untreated. The parameters which were considered are related both to plant development (height, green and dry aerial biomass, optical indicators of photosynthetic activity) and to crop yield (final grain yield, harvest index, ears number m⁻², weight of 1000 seeds, specific weight, crude protein, wet gluten and Zeleny index). The analysis of experimental data has noticed a lot of these parameters were positively affected by Rhizosum-N application (morpho-physiological development of plants in particular), the few statistically different values were detected only in the theses fertilized with the lowest dose of nitrogen.

However, in the specific agricultural conditions (medium-loam soil, good supply of nutrients) the post-emergence microbiological treatment cannot replace the reduction of nitrogen

fertilization, and therefore it cannot be used reliably to produce the quantitative-qualitative amount of common wheat required by industrial mills.

1. INTRODUZIONE

1.1 IL FRUMENTO

1.1.1 Origine e diffusione

Si pensa, quasi con certezza, che il frumento abbia come centro di origine l'attuale Iraq, poiché da studi effettuati su cariossidi fossili ritrovate in questa area si è dedotto che il frumento fosse presente in questa area già alcuni millenni a.c. dove, assieme a vite e olivo, costituiva la fonte primaria di sostentamento per le popolazioni di questa zona. Anche l'inizio della sua coltivazione è avvenuto nei territori della mezzaluna fertile, per espandersi successivamente in Egitto, dove già era diffuso l'orzo. Dagli affreschi Egiziani si capisce che è stata proprio questa popolazione a scoprire le qualità di panificazione di questo cereale, tecniche che poi sono state considerate e migliorate dai Greci e dai Romani, grandi consumatori di frumento. Nell'Europa occidentale il frumento si diffuse addirittura già nell'età della pietra, considerando che in Italia ne erano coltivate diverse varietà durante il periodo preistorico e che nel periodo pre-romano il frumento arrivò a costituire una delle colture più importanti dell'economia dell'epoca.

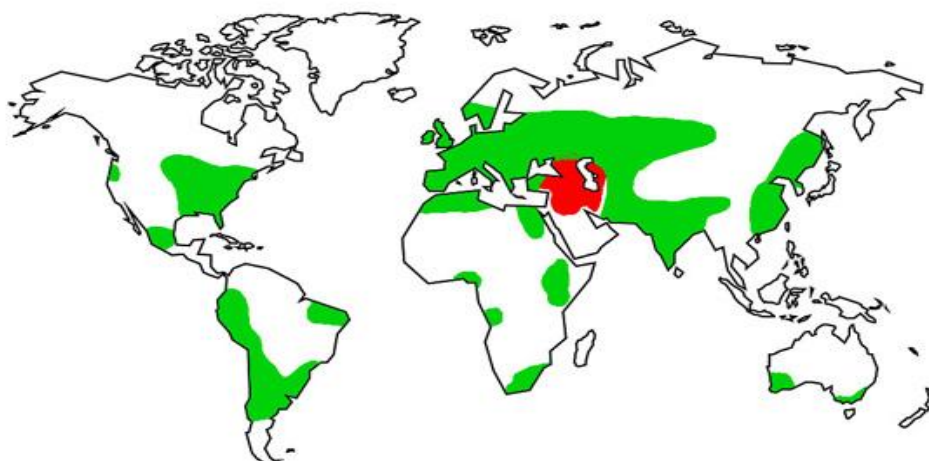


Figura 1: Diffusione del frumento nel mondo (Rosso: Origine / Verde: Coltivazione).

Nelle Americhe invece il frumento si diffuse nella metà del sedicesimo secolo dove risultava essere coltivato in Cile, Messico e Perù. In Australia, successivamente, il frumento iniziò ad affermarsi con le forti immigrazioni dall'Europa a partire dalla seconda metà dell'ottocento.

In Italia la produzione di frumento tenero è risultata essere abbastanza costante negli ultimi 10 anni, sebbene il raccolto 2014 sia stato il migliore degli ultimi cinque. Nel 2014 il Nord Italia si conferma la macro-regione leader nella produzione di frumento tenero, sia come superficie che come rese, pari a $6,08 \text{ t ha}^{-1}$ rispetto a quelle di $5,47 \text{ t ha}^{-1}$ del Centro e di $3,34 \text{ t ha}^{-1}$ del Sud. Le migliori condizioni pedo - climatiche della porzione settentrionale del Paese spingono ad un aumento progressivo delle superfici coltivate, a discapito del Centro dove invece si segnala una contrazione.

Grazie alla produzione nazionale costante o in leggero aumento (3.123.000 tonnellate nel 2013) e ai consumi che, probabilmente a causa della crisi economica in atto, sono crollati a 6.800.000 t nel 2013, le importazioni sono diminuite notevolmente incrementando la quota di fabbisogno coperta dalla produzione nazionale (Mipaaf, 2014).

Da quanto possiamo evincere dalla *Tab. 1* la principale regione produttrice di frumento tenero è l'Emilia Romagna, seguita da Veneto, Piemonte, Umbria e Lombardia.

A dispetto della contrazione della superficie a frumento negli ultimi sessant'anni, la produzione è aumentata fino agli anni settanta, per poi stabilizzarsi, grazie in primo luogo all'aumento delle rese medie per ettaro.

Il frumento nel nostro paese è impiegato primariamente per l'alimentazione umana e secondariamente trova impiego per la nutrizione animale o per fini industriali (Toderi e D'Antuono, 2001).

La produzione mondiale di frumento dell'anno 2013 ammonta a quasi 716 milioni di tonnellate; i cinque maggiori produttori sono stati la Cina, con circa 122 milioni di tonnellate, l'India con 93,5 milioni di tonnellate, gli USA con 58 milioni, la Russia con 52 e la Francia con 38,6 milioni di tonnellate (FAOstat, 2013).

A livello europeo i dati risalenti all'anno 2012 riportano una produzione complessiva di frumento tenero pari a 117,7 milioni di tonnellate su circa 21 milioni di ettari coltivati, con una resa media pari a $5,52 \text{ t ha}^{-1}$ (EUROstat, 2012).

I maggiori produttori di grano tenero a livello europeo sono la Francia (37,3 milioni di tonnellate con resa media di $7,5 \text{ t ha}^{-1}$), la Germania (27,4 milioni di tonnellate con resa media di $8,7 \text{ t ha}^{-1}$) e il Regno Unito (16,6 milioni di tonnellate con resa media di $8,6 \text{ t ha}^{-1}$) (EUROstat, 2014).

Tabella 1. Superficie (ettari) e produzione (quintali) del frumento tenero, dettaglio per regione riferite all'anno 2014 (AgriISTAT, 2015).

Regione	Superficie	Produzione totale	Produzione raccolta
Piemonte	84.632	4.789.281	4.789.281
Valle d'Aosta	5	150	140
Lombardia	59.528	3.410.642	3.410.642
Liguria	182	4.425	4.425
Trentino-Alto Adige	35	1.400	1.360
Veneto	84.563	5.541.528	5.430.697
Friuli-Venezia Giulia	11.918	702.487	700.627
Emilia-Romagna	151.848	8.482.584	8.475.674
Toscana	25.923	886.927	883.662
Umbria	61.402	3.849.643	3.849.643
Marche	15.629	681.443	673.193
Lazio	14.550	475.900	461.000
Abruzzo	22.602	996.825	995.913
Molise	4.100	42.000	42.000
Campania	16.872	523.315	518.315
Puglia	15.300	350.700	342.000
Basilicata	6.901	181.932	177.357
Calabria	10.273	301.447	295.425
Sicilia	350	7.500	7.250
Sardegna	2	36	36
ITALIA	586.615	31.230.165	31.058.640

1.1.2 Classificazione tassonomica

I frumenti coltivati sono piante annuali e appartengono alla famiglia botanica delle *Graminaceae* e appartengono a diverse specie del genere *Triticum*. La prima specie coltivata è stata *T. monococcum* che ha rappresentato per millenni la coltura principale del Vicino Oriente. I progenitori selvatici appartengono a diverse specie del genere *Triticum* e *Aegilops*, distribuiti nelle regioni della Mezzaluna Fertile. Il *T. monococcum* non ha portato a discendenti poliploidi. La linea di ottenimento del grano duro e grano tenero è la seguente: *T. urartu* (2x=14) x *T. speltoides* (2x=14) ha originato *T. turgidum* spp. *diccoides* selvatico che è stato poi addomesticato ottenendo il Farro: *T. turgidum* spp. *dicoccum* (2x=14). Quest'ultimo è stato ulteriormente selezionato ottenendo *T. turgidum* spp. *durum* (4x=28), tetraploide che rappresenta il frumento duro. L'incrocio del farro con la specie selvatica *T. tauschii* ha originato l'attuale frumento tenero (*T. aestivum*, 2x=42). Il *T. aestivum* è la specie di frumento che ha maggior massa genica e proprio per questo motivo è in grado di adattarsi

maggiormente nei diversi ambienti rispetto al *T. turgidum* spp. *Durum* (Toderi e D'Antuono, 2001).

1.1.3 Morfologia

Radici

Il frumento è costituito da radici primarie che si mantengono attive per tutto il ciclo della pianta e sono responsabili dell'assorbimento di acqua e di elementi nutritivi, solitamente sono in numero di cinque ma a volte anche sette. Poi ci sono radici secondarie o avventizie che si originano dai nodi basali, sono fibrose e rappresentano la maggior parte dell'apparato radicale. Le radici secondarie oltre che dai nodi basali del culmo principale possono originarsi dai nodi basali dei culmi di accestimento (Toderi e D'Antuono, 2001). A completa formazione le radici di frumento possono raggiungere la profondità del metro e mezzo garantendo così una buona esplorazione del terreno ed una certa resistenza alla siccità.

Fusto

Il culmo del frumento può raggiungere un'altezza variabile a seconda della specie, della varietà e delle condizioni ambientali e nutrizionali in cui si trovano le piante. Nelle popolazioni selvatiche di origine il frumento raggiungeva anche i due metri di altezza ma oggi grazie ai miglioramenti genetici ottenuti le varietà moderne arrivano ad un'altezza massima di 70-80 cm. Naturalmente le varietà per la produzione di granella sono mediamente più basse rispetto alle varietà da biomassa come il triticale. L'altezza del culmo è un fattore importante per quanto riguarda l'allettamento dovuto agli eventi meteorici. È un fenomeno che può provocare danni gravi alla produzione, per questo oggi oltre al miglioramento genetico si cominciano ad usare nuovi prodotti ormonali nanizzanti che riducono la taglia della pianta agendo sui processi metabolici di sviluppo.

Il culmo del frumento è eretto, fistoloso con sezione cilindrica formato da cinque, fino ad otto, nodi ed internodi a seconda della varietà. Anche lo spessore ed l'elasticità sono elementi importanti per la resistenza all'allettamento. Le piante allettate sono generalmente in grado di ovviare al problema (se in una fase del ciclo non troppo avanzata) attraverso la "ginocchiatura", ovvero la proliferazione di cellule all'altezza dei nodi lungo il tratto di culmo curvato, al fine di raddrizzare la pianta (Toderi e D'Antuono, 2001).

Foglie

Il numero di foglie presenti nella singola pianta può variare da cinque a otto, questo è correlato dalle condizioni ambientali e nutrizionali in cui vive la pianta. Il colore delle foglie è verde, più o meno intenso a seconda della disponibilità di elementi nutritivi e stress derivati da elementi biotici ed abiotici. Nell'ultimo caso è probabile vedere le foglie in sofferenza che assumono un colore giallognolo o addirittura disseccamenti. La guaina avvolge completamente il culmo per buona parte dello spazio internodale. La lamina o lembo ha forma lineare-lanceolata appuntita con nervature parallelinervie, portamento eretto o patente, con superficie pubescente o glabra asseconda della varietà. Molto importante è l'ultima foglia, detta "a bandiera", che ha il ruolo di riempimento delle cariossidi essendo anche l'ultima a disseccarsi prolungando l'attività fotosintetica. La ligula abbraccia il culmo e ha margine frastagliato provvisto di peli sottili. Infine le orecchiette, o auricole, sono sempre presenti e provviste di peli sottili che non si oltrepassano in lunghezza (Toderi e D'Antuono, 2001).

Infiorescenza

L'infiorescenza è una spiga costituita da un asse principale, o rachide, sul quale sono inserite le spighe solitarie e sessili, la lunghezza varia a seconda della specie e la varietà. Il rachide nelle varietà non più coltivate (*T. monococcum*, *T. spelta* ecc.) era molto debole e si rompeva durante le operazioni di trebbiatura ma con le nuove varietà questo problema non sussiste. Il rachide è costituito da nodi ed internodi brevi sul quale sono inserite le spighe in posizione alterna su due file opposte. Nel frumento tenero e duro possono essere circa 18-20 ma nel turgido si può raggiungere la trentina. Ogni spigetta presenta un breve asse non ramificato sul quale sono inserite le glume e i fiori che possono essere da tre a otto. Le spighe mediane sono costituite da più fiori rispetto alle apicali e le basali. Il fiore è costituito da due formazioni membranacee, le glumette o glumelle, che racchiudono il gineceo e l'androceo. La glumetta basale è costituita da una resta in cui la lunghezza varia a seconda se si tratta di frumento duro o turgido dove posso raggiungere lunghezze fino ai 20 cm, mentre nel frumento tenero sono molto corte o addirittura mutiche. Il fiore ha l'androceo costituito da tre stami provvisti di antere voluminose mentre il gineceo è formato da un pistillo con ovario subero monocarpellare e con stilo provvisto di stigma bifido e piumoso. Alla base presenta due piccole squame chiamate lodicole che durante l'antesi si gonfiano, determinando la divaricazione delle glumette e permettendo la fuoriuscita delle antere (Toderi e D'Antuono, 2001).

Cariosside

La cariosside di frumento è distinta da una parte ventrale e una dorsale. E' un frutto secco, indeiscente costituito da endoderma amilaceo e dal germe. La parte dorsale presenta forma ovale e si nota la presenza dell'embrione, nella parte ventrale si nota il solco ventrale più o meno accentuato. Il colore varia a seconda della varietà si va dal chiaro al brunastro o con gradazioni intermedie. L'endosperma ha struttura farinosa nel frumento tenero e nella spelta, oppure struttura vitrea nel frumento duro; può essere anche semivitrea in alcuni frumenti teneri. In frumento duro si possono notare zone biancastre e farinose note come "bianconatura", fenomeno che determina un difetto qualitativo del prodotto e non trascurabile al quale si rimedia, o meglio si previene, evitando carenze di azoto soprattutto tardive. Le dimensioni della cariosside sono diverse a seconda della specie; nel frumento tenero il peso varia tra i 30 e 40 mg; nel frumento duro tra i 30 e 55 mg. L'embrione occupa fino ad 1/6 della cariosside nella parte dorsale e basale mentre nella parte opposta si notano dei ciuffi di peli sottili. Nell'embrione la piumetta è avvolta da una guaina chiamata coleoptile e la radichetta è avvolta da una specie di cuffia chiamata coleoriza. Il tutto è unito all'asse embrionale rappresentando il cotiledone del seme o scutello, interposto tra embrione ed endosperma (Toderi e D'Antuono, 2001).

1.1.4 Ciclo vegetativo e riproduttivo

Il ciclo del frumento coincide con quello produttivo ed è costituito da diverse fasi che presentano cambiamenti morfologici facilmente individuabili con normali osservazioni. Tutte le modifiche morfologiche sono comunque accompagnate da mutamenti che avvengono a livello di apice vegetativo prima della spigatura. Una distinzione importante del ciclo del frumento è tra fase vegetativa e fase riproduttiva.

Semina - Emergenza

Questa fase comprende la germinazione del seme fino alla fuoriuscita della plantula dal terreno, ovvero l'emergenza. La germinazione avviene in assenza di dormienza, con temperature sufficientemente elevate e con un assorbimento di acqua da parte della cariosside

fino al 35-40% del suo peso. Prima fuoriesce l'apice radicale protetto dalla coleorizza, poco dopo fuoriesce la prima foglia embrionale cioè il coleoptile con funzione di penetrazione nel terreno. All'interno di esso si trova l'epicotile che viene portato in superficie e rappresenta la struttura in cui si ha il primo sviluppo dei nodi con successivo ingrossamento. Nella cariosside in quiescenza si ha un embrione che comunque ha già tre o quattro primordi fogliari e la prima foglia è ben visibile all'emergenza che fuoriesce quasi subito dal coleoptile. Da considerare che una semina profonda induce comunque al processo di germinazione ma la prima foglia in emergenza si svilupperà sotto la superficie ritardando l'emergenza e la capacità di accestire. Questa fase dura mediamente 10-15 giorni in condizioni ottimali con due o tre primordi già visibili all'apice vegetativo al suo termine (Toderi e D'Antuono, 2001).

Emergenza - inizio accestimento

Dopo la fase di emergenza lo sviluppo continua con l'emissione di nuove foglie, durante il quale ognuna di esse esce dalla guaina di quella precedente quando ha assunto la forma definitiva. In contemporanea nell'apice vegetativo si differenziano nuovi primordi di foglie, All'emergenza della 3-4 foglia tutte le successive si sono già differenziate e all'interno dell'apice vegetativo avviene il viraggio, ovvero la differenziazione dell'abbozzo della spiga. L'allungamento degli internodi è ancora del tutto assente in questa fase. All'ascella di ogni foglia, compreso il coleoptile, si sviluppa una gemma che ripete esattamente la struttura l'asse principale e andranno a costituire i culmi di accestimento. Di norma il primo che si forma appartiene alla prima foglia sviluppata in quanto il culmo che si forma dalla gemma del coleoptile è debole o assente in caso di semina profonda. L'accestimento inizia in genere prima dell'inverno, per poi rallentare e riprendere al rialzo delle temperature (Toderi e D'Antuono, 2001).

Inizio accestimento - inizio levata

L'emissione dei culmi di accestimento procede con una velocità che dipende dalle condizioni termiche e dal fotoperiodo. Normalmente oltre la quarta foglia, le gemme ascellari non si sviluppano e solitamente tutti i culmi di accestimento tendono a sincronizzarsi. I fattori che influenzano l'accestimento in genere sono il genoma, l'ambiente e la tecnica colturale (epoca di semina, profondità, ecc.). A fine accestimento circa, si ha la fase del viraggio a livello di apice vegetativo (la spighetta si trova a 1 cm di altezza dalla corona di accestimento), , il periodo in cui si ha l'inizio della fase riproduttiva dovuta alle conseguenze della

vernalizzazione. Riprese di accestimento dopo eventi traumatici tardivi possono garantire comunque produzioni ma allo stesso tempo si può peggiorare la produzione per competitività tra formazione dei nuovi culmi e la formazione delle cariossidi (Toderi e D'Antuono, 2001).

Inizio levata - spigatura

La differenziazione della spighetta terminale corrisponde con l'inizio dell'allungamento degli internodi ovvero la fase di levata che avviene a partire dagli internodi basali. La pianta acquisendo l'altezza prestabilita sviluppa nuove foglie, l'ultima delle quali è quella che contiene la spiga che resta al suo interno. Il suo sviluppo, in questa posizione, scandisce lo stadio di botticella fino a che la parte terminale inizierà a fuoriuscire dalla guaina fogliare, dopo circa 10-12 giorni. L'accrescimento dell'apparato radicale cessa in genere poco prima della spigatura. Questa fase è caratterizzata da un grosso assorbimento di acqua ed elementi nutritivi quali azoto, potassio e fosforo² che saranno velocemente traslocati nelle cariossidi.

Fioritura e impollinazione

I primi a fiorire sono i fiori posizionati nella parte centrale del rachide della spiga, proseguendo poi verso quelli distali e prossimali. L'avvenuta fioritura è visivamente confermata dalla fuoriuscita delle antere dalle glumette che si aprono per l'effetto della turgescenza delle lodicole. Il frumento è una specie autogama e cleistogama, la fioritura dura in media 4-8 giorni, seguita dalla fecondazione e dall'immediato sviluppo della cariosside (Toderi e D'Antuono, 2001).

Crescita e maturazione della cariosside

Inizialmente la cariosside attraversa una fase di moltiplicazione cellulare dove si hanno divisioni mitotiche a livello di zigote che generano un aumento di numero di cellule. La cariosside quindi aumenta in lunghezza fino al raggiungimento di quella finale. Il peso secco aumenta e l'acqua diminuisce fino al 70%; questa fase dura all'incirca 15 giorni. Poi ha inizio la fase di accumulo di sostanze di riserva che dura fino a 40 giorni, la cariosside ha quindi cessato la divisione cellulare e aumenta il suo contenuto in amido determinando un aumento lineare del peso secco. Anche il contenuto in acqua aumenta fino ad arrivare al quantitativo massimo che coincide con la maturazione lattea, con endosperma ricco di sostanze proteiche ed amilacee di aspetto lattiginoso. Alla fine della maturazione lattea si passa alla maturazione lattea-cerosa (maturazione fisiologica), dove il contenuto di acqua è sceso dal 70% al 50% e

l'embrione si è sviluppato definitivamente. In seguito la perdita di acqua è lineare fino a raggiungere lo stadio di maturazione cerosa e maturazione piena (15% umidità). Alla maturazione di morte la granella presenta un tasso di umidità pari al 10%, ma la raccolta in questa fase avanzata è rischiosa a causa del distacco e caduta al suolo di numerose cariossidi durante l'operazione di mietitura (Toderi e D'Antuono, 2001).

1.1.5 Esigenze ambientali

Il frumento è una specie microterma, ovvero svolge il suo ciclo biologico durante i periodi freddi dell'anno. Questo perché l'ambiente di origine di questo cereale era caratterizzato da inverni rigidi ed estati calde quindi la sua fase vegetativa e quella riproduttiva avviene nelle stagioni fredde o miti (autunno, inverno e primavera). Lo zero di vegetazione corrisponde a 0°C tra germinazione e spigatura e a 6°C tra fioritura e maturazione. La temperatura massima di accrescimento è 30°C, mentre le ottimali sono comprese tra i 18 e i 20 gradi. La resistenza al freddo è molto bassa tra germinazione ed emergenza per poi aumentare fino a livelli massimi in fase di pieno accostamento. Le specie vernalizzanti possono andare incontro anche al processo di indurimento che fa sì di modificare la morfologia della pianta nei periodi invernali ottenendo così una maggiore resistenza al freddo, cosa che non succede nelle piante che non prevedono la vernalizzazione. La resistenza al freddo comunque diminuisce di molto nella fase di levata, durante la quale i danni da abbassamenti di temperatura tardivi possono colpire gli apici vegetativi o alterare i culmi. Temperature di 0°C alla fioritura provocano danni agli organi riproduttivi e sterilità pollinica. Ci sono due genotipi di frumento, i primi detti non alternativi o invernali devono necessariamente subire la vernalizzazione per poter differenziare la spiga (viraggio), mentre gli altri, denominati alternativi, raggruppano le specie primaverili che non hanno bisogno di questo processo per differenziare la spiga, possono pertanto essere seminate a fine inverno anche se comunque il processo è di gran lunga accelerato dalle basse temperature.

Il frumento è una pianta longidiurna, il fotoperiodo è un fattore importante per lo sviluppo in particolare dopo il superamento della fase vernalizzante nel caso delle non alternative. Per quanto riguarda la piovosità, piogge eccessive in inverno causano asfissia con mortalità delle piantine e creano condizioni ottimali per le malattie fungine, nel periodo pre-raccolta invece determinano scadimenti qualitativi per effetto della pre-germinazione sulla spiga e attacchi di

malattie fungine, anche l'allettamento può essere una conseguenza di questa meteora quando la pianta ha raggiunto altezze prossime a quelle definitive. Al contrario, scarsità di pioggia può determinare il fenomeno della "stretta", ovvero cariossidi dall'aspetto striminzito a causa del blocco dei tessuti vascolari tra pianta e spiga con mancato accumulo di sostanze nell'endosperma. Il frumento trova le condizioni ideali in terreni tendenzialmente argillosi, con buona struttura e buon contenuto di sostanza organica; pH attorno alla neutralità e presenta anche discreta tolleranza alla salinità (Toderi e D'Antuono, 2001).

1.1.6 Tecnica colturale

Avvicendamento colturale

Il frumento è una coltura che trae molti benefici dalle colture precedenti, mentre nel caso della monosuccessione (ringrano o ristoppio) si riscontrano effetti negativi in termini di calo di produzione a causa della proliferazione di erbe infestanti, patogeni e nematodi non sempre facilmente controllabili. Le migliori precessioni colturali per il frumento sono date dalle colture da rinnovo quali mais, bietola, pomodoro, patata, tabacco, ecc.; può essere utilizzato dopo un ciclo pluriennale di foraggiere per le buone caratteristiche del terreno e per le buone quantità di azoto lasciate, specialmente se leguminose, tuttavia però il frumento non è la coltura migliore da far seguire subito queste colture, sarebbe buona pratica intercalare una coltura da rinnovo. Un aspetto vantaggioso che rende il frumento preferibile come coltura precedente una da rinnovo è il fatto che, grazie alla sua raccolta che avviene in primavera o inizio estate, consente di preparare bene il terreno per la successiva coltura, anche in condizioni difficili (Toderi e D'Antuono, 2001).

Preparazione del terreno

Per preparare il terreno nei migliori dei modi, oltre alle normali operazioni meccaniche, bisognerebbe creare idonee sistemazioni al fine di evitare ristagni idrici e prevenire fenomeni di erosione idrica e conseguenti solchi che ostacolerebbero le operazioni di raccolta. In presenza di suoli argillosi con difficile permeabilità dell'acqua il terreno deve presentare una buona baulatura ed una rete di scoline efficiente. La lavorazione primaria ancora oggi è l'aratura anche se a volte, per le condizioni difficili del terreno, si preferisce usare un discissore a denti per garantire una buona qualità del lavoro. Il frumento non richiede grosse

profondità di lavorazione, 20-25 cm sono più che sufficienti. Oggi si punta anche sul minimum tillage e sulla semina su sodo, ovvero su terreno non lavorato che consente un notevole risparmio energetico sulle lavorazioni. Sono scelte che devono essere programmate considerando i fattori che permettano questo tipo di operazioni, che comunque risultano più adatte per il frumento rispetto ad altre colture viste le sue scarse esigenze in termini di lavorazioni del suolo. Lavorazioni principali svolte in estate creano le condizioni ideali per formare una riserva di acqua nel terreno e per far germinare le infestanti, controllate eventualmente con le lavorazioni complementari e in copertura.

Semina

La semente da usare deve essere di buona qualità e conciata per resistere alle diverse patologie fungine che si possono riscontrare sul letto di semina; deve garantire una germinabilità minima del 95% e deve essere esente da patogeni come *Fusarium* spp e *Septoria* spp. Inoltre, la partita di semente deve essere estremamente pura, ovvero non contenere semi estranei a quello della specie e della varietà indicata. La semente utilizzata nella prova descritta in questa tesi presentava un valore di purezza varietale reale basso, non indicato in etichetta, poiché dalla fase di fine levata si sono notate all'interno delle parcelle piante precoci con taglia maggiore rispetto a quelle della varietà Bologna (2% circa), fatto probabilmente dovuto a problemi di mancata pulizia dell'impianto nella fase di passaggio del confezionamento della semente di due diverse varietà.

L'epoca di semina nei nostri ambienti è generalmente durante il mese di ottobre, nell'Italia centrale avanza circa a fine novembre per protrarsi fino a metà dicembre nell'Italia meridionale e nelle Isole. Il terreno deve essere dotato di un buon rifornimento idrico dato dalle piogge del momento per poter garantire una buona germinazione. Essendo l'acqua il principale fattore in questa fase, a causa dei climi siccitosi si possono riscontrare sempre più di frequente difficoltà sotto questo aspetto che portano a ritardi della semina in previsione di una pioggia che consenta l'operazione. La densità di semina da attuare dipende dalla fertilità del terreno e dalla disponibilità di acqua, mediamente l'ottenimento di 600-700 spighe per m² è possibile seminando 400-500 cariossidi sulla stessa superficie, corrispondenti a 180-200 kg di semente per ettaro. Normalmente la profondità di semina si aggira tra i 3 e i 5 cm, evitando eccessive profondità che provochino problemi di germinazione. La semina avviene attualmente con seminatrici a righe semplici o binate, con distanze che non superano i 15-18 cm. Una leggera rullatura dopo la semina, o comunque dopo le gelate con piantine già nate, è

una buona pratica per far aderire meglio la semente o le radici al terreno (Toderi e D'Antuono, 2001).

Controllo delle infestanti

Le erbe infestanti nei campi coltivati di frumento trovano le condizioni di crescita meno agevoli essenzialmente per l'alta densità di coltivazione di questa coltura, la rapida copertura della superficie nuda e per ciclo di coltivazione durante la stagione invernale-primaverile. Nonostante questo, se non si procede con un adeguato controllo, possono creare danni, anche gravi, alla produzione. Le tecniche di prevenzione sono date innanzitutto dagli avvicendamenti colturali evitando il ristoppio. Il diserbo chimico deve essere ad ampio spettro d'azione, considerando le specie monocotiledoni e dicotiledoni che possono essere presenti in campo. È diventata un'operazione complessa poiché le cause di proliferazione delle malerbe in appezzamenti di frumento possono essere svariate, come le abbondanti concimazioni azotate, la diffusione dei loro semi durante le operazioni di mietitura, il ricorso ad erbicidi con azione non completa, gli eventuali ristoppi frequenti. Un attento *scouting*, grazie al quale si viene a conoscenza delle specie presenti in campo, è l'unica pratica che consente di formulare al meglio le miscele di erbicidi che devono essere distribuite nelle varie fasi, ovvero in pre-emergenza, in post-emergenza ed in levata (Toderi e D'Antuono, 2001). Una piccola sintesi delle malerbe che possono infestare il frumento è la seguente:

Monocotiledoni:

Graminacee: avene selvatiche (*Avena ludoviciana*, *Fatua barbata*), falaride (*Phalaris spp.*), coda di volpe (*Alopecurus myosuroides*), loglio (*Lolium spp.*), agrostide (*Agrotis spica-venti*), fienarola (*Poa spp.*).

Dicotiledoni:

Composite: camomilla (*Matricaria chamomilla*), fiordaliso (*Centaurea cyanus*), stoppione (*Cirsium arvense*), crisantemo (*Chrysanthemum segetum*).

Crucifere: borsa del pastore (*Capsella bursapastoris*), ravanello selvatico (*Raphanus raphanistrum*), senape selvatica (*Sinapis arvensis*), miagro (*Myagrum perfoliatum*).

Poligonacee: correggiola (*Polygonum aviculare*), poligono convolvolo (*Fallopia convolvulus*).

Avversità abiotiche e biotiche

L'avversità abiotica più comune nel frumento è l'allettamento, ovvero la caduta dei culmi verso il terreno, fenomeno causato da un vento eccessivo o da concimazioni azotate troppo elevate che rendono il culmo troppo debole alle sollecitazioni meccaniche. La pianta allettata è in grado di rialzarsi con la proliferazione delle cellule meristematiche a livello dei nodi (ginocchiatura). Questo non è un problema se accade durante il periodo di levata ma lo diventa in caso succedesse in prossimità della maturazione quando i culmi hanno cessato l'attività di crescita. Un'altra avversità abiotica è la siccità, il frumento di per se non è una coltura irrigata nel nostro territorio e vi resiste molto bene, ma può capitare in alcune annate che la quantità di acqua disponibile si approssimi a valori critici tra il 20 e 40%, provocando ingenti stress per la piante e rendendo necessari interventi di irrigazione di emergenza.

Tra le avversità biotiche il frumento è colpito da numerose specie fungine dannose, oltre che attacchi da parte di insetti. Per quanto riguarda le prime, le principali sono il mal del piede, l'oidio, le ruggini (*Fig. 2*), le septoriosi, la carie e il carbone.

Il mal del piede è provocato da più specie di funghi che attaccano le radici e/o la parte basale dei culmi principali e secondari. L'oidio attacca le parti epigee della pianta (culmo, foglia, spiga); gli attacchi all'ultima foglia sono i più dannosi perché incidono negativamente sulla resa del prodotto. L'oidio è favorito da densità di semina elevate e da abbondanti concimazioni azotate. Le ruggini dipendono soprattutto dalle condizioni climatiche e dalla resistenza varietale (fattori che determinano il prevalere di uno o più attacchi fungini) oltre che, come per i precedenti, dalle abbondanti concimazioni azotate e dalle elevate densità di piante. La septoriosi colpisce l'ultima parte del culmo, le glume, il rachide della spiga ed è favorita dal ringrano e da abbondanti concimazioni azotate. La carie attacca durante la germinazione delle cariossidi ma si manifesta visivamente alla maturazione del prodotto, quando si ha la formazioni di pseudo-cariossidi rotondeggianti, piene di massa nera costituita dalle clamidospore del fungo che, durante la trebbiatura, contaminano le cariossidi sane. Il carbone attacca il frumento durante la germinazione. Visivamente si osserva sulla spiga, in cui si formano degli ammassi nerastri derivanti dalla disorganizzazione dei tessuti provocata dal fungo; si sviluppa con climi umidi o sub-umidi e nelle condizioni in cui il frumento non è irrigato.



Figura 2: *Puccinia graminis* su una foglia di frumento.

Riguardo agli insetti, i più rilevanti sono la *Phytophaga destructor* (cecidomia distruttrice del frumento) ed è uno degli insetti più dannosi negli USA, in Italia attacca soprattutto nelle regioni meridionali e insulari. I danni sono causati dalle larve e colpiscono le giovani piantine, provocandone l'arresto della crescita e morte, con conseguenti diradamenti anche molto evidenti. Il *Cephus pigmeus* è un insetto che provoca danni allo stadio larvale penetrando nel culmo e nutrendosi della sua parte interna. Lo *Zabrus tenebroides* (zabro gobbo) è un insetto che allo stato larvale, ma anche in quello adulto, provoca diradamenti delle giovani piante perché, una volta schiuse le larve in autunno, rodono voracemente la base delle giovani plantule.

Non di minore importanza sono gli attacchi da parte di alcuni afidi dei cereali, soprattutto se avvengono direttamente sulla spiga in sviluppo (Toderi e D'Antuono, 2001).

La lotta contro i parassiti può essere direttamente eseguita con la concia del seme, con trattamenti al terreno contro gli insetti, con trattamenti alla pianta contro specie animali e fungine. Pratiche agronomiche come l'avvicendamento colturale e l'interramento delle stoppie riducono efficacemente gran parte dei problemi appena descritti.

1.1.7 Componenti della resa

La produzione finale di granella del frumento è risultante dai seguenti fattori: il numero di spighe per unità di superficie ($650-700 \text{ m}^{-2}$), che è determinato dal numero di piante (300-400

m⁻²), dall'indice di accestimento (da 0,5 a 2) e dalla sopravvivenza dei culmi; il numero di cariossidi per spiga (35-40), a sua volta influenzato dal numero di spighe per spiga (1 -20) e di cariossidi per spigetta (1-4), e il peso medio delle cariossidi (35-45 mg), determinato dal numero di cellule dell'endosperma e dal loro grado di riempimento.

1.2 LA NUTRIZIONE DEL FRUMENTO

1.2.1 Esigenze nutrizionali

Per sostenere la propria attività metabolica e di accrescimento le piante dipendono da tutti gli elementi chimici, suddivisi in macro e microelementi a seconda della quantità assorbita. Tra questi estremamente importante è l'azoto, poiché entra a far parte di numerose molecole quali amminoacidi, clorofilla, acidi nucleici, ecc. Nonostante la sua abbondanza in atmosfera però la quantità biodisponibile di questo elemento è scarsa, risultando molto spesso limitante per lo sviluppo delle colture, per questo si ricorre alla produzione industriale di fertilizzanti e alla coltivazione di specie azotofissatrici. Le due forme disponibili presenti nel terreno sono l'azoto nitrico e l'azoto ammoniacale; la forma nitrica è più facilmente assorbita dalle piante ma allo stesso tempo è facilmente dilavabile per la sua solubilità in acqua e per il mancato adsorbimento da parte dei colloidi del terreno. L'azoto comunque può essere trasformato in ossidi o ridotto in azoto molecolare ed essere potenzialmente rilasciato in atmosfera, con conseguente perdita nel sistema. La dipendenza dai concimi minerali è particolarmente fondata nel frumento poiché con le nuove varietà che hanno rappresentato incrementi di resa nell'ordine di 0,5 t ha⁻¹ per decennio e stabilità del contenuto proteico al 13%, imposto dall'industria molitoria, si sono registrati aumenti esponenziali di assorbimento di azoto necessari a soddisfare le esigenze di questa coltura. In Italia considerando l'arco di tempo tra il 1900 e il 1996 si sono registrati incrementi di assorbimento di azoto da 6,7 a 8,2 kg ha⁻¹ per decennio e per raggiungere attualmente la produzione di 7 t ha⁻¹ occorrono mediamente 160 kg ha⁻¹ di azoto, quantità difficilmente ottenibile con la sola mineralizzazione della sostanza organica del suolo. Nel caso ci sia anche l'asportazione dei residui colturali, l'intervento di concimazione si rende ancora più necessario.

Per quanto riguarda invece il fosforo, la concentrazione di questo elemento nei tessuti della pianta è maggiore nelle piante giovani: è necessario che fin dalle prime fasi di vita la pianta trovi un terreno ben dotato in fosforo, sebbene ne assorba la quota maggiore durante la fase di levata, al termine della quale ha già soddisfatto circa il 75% delle proprie esigenze. A maturità, maggiori concentrazioni di fosforo si trovano nella granella piuttosto che nella paglia. Le asportazioni di fosforo dal terreno si attestano tra i 15 e i 30 kg ha⁻¹ (34-68 kg di P₂O₅) (Toderi e D'Antuono, 2001).

Il potassio come il fosforo è presente in concentrazione maggiore nelle piante giovani. A maturità invece si trova concentrato prevalentemente nella paglia piuttosto che nella granella. Nelle fasi vegetative precedenti la levata l'assorbimento di questo elemento è relativamente contenuto: la quota principale è assorbita tra la fase di levata ed i 30-40 giorni precedenti la maturazione. Le asportazioni di potassio variano a seconda del livello di resa tra i 25 e gli 85 kg ha⁻¹ (30-100 kg di K₂O) (Toderi e D'Antuono, 2001).

Altri macroelementi essenziali sono calcio, magnesio e zolfo: i primi due sono in genere presenti a sufficienza nel terreno, mentre talvolta la dotazione in zolfo può risultare carente.

Microelementi necessari quali zinco, manganese, rame, boro e molibdeno sono in genere presenti in quantità sufficienti nel terreno (Toderi e D'Antuono, 2001).

1.2.2 La fertilizzazione

La quantità di sostanze nutritive varia in base alla resa della pianta e alle predisposizioni genetiche, naturalmente più alte sono le rese più elevati si rendono gli assorbimenti. La fase di maggior assorbimento della pianta è la levata in cui è assorbito fino all'80% delle esigenze totali. L'azoto è un elemento di primaria importanza assorbito in grandi quantità e traslocato nei tessuti vegetali; il picco di assorbimento avviene in fase di levata e per oltre i tre quarti avviene prima della fioritura, quindi nella cariosside l'azoto arriva per traslazione dalle parti verdi. Questo elemento se in buona dotazione ritarda la senescenza garantendo una maggiore assimilazione, aumentando la durata della superficie fotosintetizzante. Disponibilità adeguate favoriscono un maggior accostamento, minore mortalità dei culmi e maggiore fertilità della spiga; carenze in fase di viraggio sono particolarmente dannose. Disponibilità tardive di azoto sono ideali per aumentare il contenuto proteico della granella, infatti proprio per questo sono previste concimazioni azotate anche nel mese di maggio, operazione che nel frumento duro

evita la bianconatura dell'endosperma. Eccessi di questo elemento provocano allettamento e più forti condizioni di stress idrico. Concimazioni di azoto nell'Italia settentrionale si aggirano tra i 120 e i 150 kg arrivando anche ai 200 kg per ettaro; essendo un elemento dilavabile si programmano diversi interventi frazionati durante il ciclo per non creare mai stati di carenza: alla semina, ad inizio levata e durante la maturazione.

Il fosforo è un elemento che raggiunge la massima concentrazione nei tessuti due settimane prima della maturazione. Buone concentrazioni devono essere presenti nelle prime settimane di vita, con massimo assorbimento in levata. La carenza si manifesta in un minore accostimento e stentato accrescimento, mentre eventuali eccessi non si ripercuotono nella produzione. Quantità sufficienti per la concimazione di questo elemento si aggirano tra i 70 e i 100 kg per ettaro tenendo in considerazione il suo contenuto nel terreno; il fosforo come il potassio è un elemento non lisciviabile e per questo è apportato prima dell'aratura.

Il potassio è presente in quantità maggiori, rispetto ad azoto e fosforo, nella paglia. La quantità maggiore è assorbita durante la fase di levata ed il picco massimo di assorbimento è un mese prima della maturazione. Carenze di questo elemento si manifestano in colorazioni rossastre nella pianta e nel disseccamento degli apici fogliari in porzioni variabili a seconda della carenza. Solitamente in terreni argillosi, considerata la loro dotazione e le richieste non elevate da parte del frumento non è necessario concimare con questo elemento, contrariamente a quanto accade in terreni limosi o sabbiosi. Quantità idonee in caso di scarse dotazioni di potassio si aggirano tra i 100 e i 150 kg per ettaro da distribuire durante i lavori di affinamento in pre-semina. I concimi organici non sono particolarmente adatti a questa coltura per la loro lenta cessione di azoto (Toderi e D'Antuono, 2001).

1.3 I BIOFERTILIZZANTI

I biofertilizzanti sono prodotti composti da differenti tipi di microorganismi che hanno la capacità di rendere disponibili alle piante alcuni elementi nutritivi tramite processi biologici. I microorganismi usati nelle coltivazioni, naturalmente presenti nella biosfera, includono organismi liberi, rizobatteri e funghi micorrizici, che hanno la capacità di rendere mobili nutrienti dal suolo non direttamente disponibili per le piante. Recentemente si sono aggiunti i PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*), che stimolano la crescita delle piante con

una serie di meccanismi come l'introduzione di ormoni, la solubilizzazione di elementi immobili, l'induzione di resistenza o la protezione delle radici dai patogeni del terreno. Effetti significativi come quelli appena elencati si sono visti attraverso l'inoculazione di VAM (*Vesicular Arbuscular Mycorrhiza*) e batteri del genere *Azotobacter* (Wani *et al.*, 1988), la loro azione è però parecchio condizionata da fattori come la fertilità del suolo (Young *et al.*, 1985), l'efficienza del fungo simbionte (Hetrick *et al.*, 1931) e il genotipo della cultivar (Hetrick *et al.*, 1931; Azcon e Okampo 1981). L'uso di questi composti, comunque incidenti sulla fertilità del suolo, è considerato sostenibile per l'ambiente ed è ovviamente ammesso anche in agricoltura biologica (Wu *et al.*, 2005; Gosling *et al.*, 2006).

1.3.1 Micorrize

La micorriza è un'associazione simbiotica tra la pianta e il fungo. Ci sono due tipi di funghi coinvolti nell'associazione: le micorrize arbuscolari (AM, *Arbuscular Mycorrhizae*) e le ectomicorrize (ECM). Le AM sono probabilmente i funghi più diffusi e comunemente presenti nei terreni agricoli (Shubert, 2000). Questi funghi penetrano la corteccia radicale e formano una struttura chiamata arbuscolo che funge da tramite per lo scambio di metaboliti tra il fungo e il citoplasma delle cellule vegetali (Oueslati, 2003). Le ife del micelio fungino delle micorrize arbuscolari proliferano nel terreno (Bethlenfalvay e Linderman, 1992), le quali aiutano le piante nell'assorbimento di minerali e acqua dal terreno e in più contribuiscono al rafforzamento della struttura (Javaid 2009; Rilling e Mummey, 2006).

I funghi AM non sono ospite-specifici e le diverse specie fungine possono formare simbiosi micorriziche con centinaia di specie vegetali diverse; viceversa, le diverse specie di piante possono essere colonizzate da molte specie e generi di funghi, che però mostrano specificità funzionale e che possono influenzare la performance simbiotica.

I funghi AM sono biotrofi obbligati e non possono crescere in assenza di piante. Le spore presenti nel terreno possono germinare in condizioni adatte di temperature, pH e umidità. Il micelio che si origina da esse è in grado di riconoscere i segnali chimici provenienti dalle radici dell'ospite, di formare strutture infettive, gli appressori, e di penetrare all'interno delle cellule radicali, formando gli arbuscoli. Questi ultimi sono degli austori intracellulari, che originano dalla ramificazione dicotomica delle ife che colonizzano le cellule radicali: durante lo sviluppo dell'arbuscolo, le ife riducono gradualmente il loro diametro e le ife più sottili non

sono più visibili al microscopio ottico. Dopo aver raggiunto la propria nicchia ecologica, la cellula radicale vegetale, il fungo simbionte ha a disposizione gli zuccheri sintetizzati dalla pianta ospite, che utilizza per svilupparsi all'esterno della radice formando grandi reti ifali, che assorbono e traslocano i nutrienti minerali del suolo alle radici. La grande disponibilità di zuccheri permette al fungo di moltiplicarsi, producendo nuove spore che possono germinare e dare inizio a un nuovo ciclo. Gli effetti più importanti sulla crescita delle piante ospiti da parte dei funghi AM sono dovuti agli incrementi nel contenuto in fosforo nelle piante micorrizzate, grazie al miglior assorbimento del P disponibile nella soluzione circolante del terreno operato dalla rete ifale extra-radicale. Il trasferimento di fosforo dal micelio esterno a quello interno alle radici avviene in forma di granuli di polifosfato, che sono traslocati dalle ife esterne a quelle interne e successivamente rilasciati a livello degli arbuscoli. Le ife extra-radicali sono in grado anche di assorbire dal suolo altri elementi minerali come azoto, zinco, calcio e zolfo. Tra pianta e fungo vi è un mutualismo che consente un trasferimento bidirezionale di nutrienti, fosforo e altri ioni poco mobili dal fungo alla pianta e carbonio organico dalla pianta al fungo. È stato calcolato che le quantità di C ottenuto dalla pianta, trasformato dal fungo simbionte in trealosio e altri polioli possono arrivare fino al 20% del totale, in dipendenza delle diverse combinazioni fungo-pianta (Glick, 1995).

Le piante che vivono in simbiosi con i funghi MA sono in grado di tollerare meglio alcuni stress biotici e abiotici, grazie al loro migliore stato nutrizionale, all'attivazione delle difese vegetali da parte del fungo simbionte, e al ruolo svolto dai batteri antagonisti presenti nella rizosfera (Aghili *et al.*, 2014; Nadeem *et al.*, 2014).

Un altro tipo di classificazione è a seconda del tipo di pianta con cui instaurano le simbiosi, se agraria o forestale. Le ectomicorrize s'instaurano tra radici di piante d'interesse forestale e funghi basidio e ascomiceti superiori, a micelio settato. Sono abbastanza evidenti, formando intorno alla radice un manicotto di ife detto micoclina che ha funzione di difesa, sia meccanica, impedendo la penetrazione dei patogeni, sia chimica, in quanto produce sostanze aggressive nei confronti degli organismi ostili. Dalla micoclina si dipartono ife extramatricali che possono accrescersi anche per notevole distanza dall'apice micorrizico, catturando elementi minerali dal suolo e convogliandoli verso la zona di contatto con le cellule vegetali, dove vengono ceduti. La micoclina, oltre alle funzioni già citate, svolge anche la funzione di un vero e proprio filtro, che impedisce il passaggio delle sostanze nocive alla pianta. Questo effetto è particolarmente efficace con il nichel, il cadmio, l'alluminio, lo stronzio (Abuzinadah e Read, 1986).

Le endomicorrize sono ritenute da molti autori la forma più evoluta delle micorrize. Come per le ectomicorrize, sono funghi simbiotici, ma in questo caso la simbiosi si spinge fino alla penetrazione delle ife fungine all'interno delle cellule epidermiche della radice. Questa simbiosi è estremamente importante in quanto si verifica più facilmente nei suoli a pH acido, facilitando così l'assorbimento dei nutrienti per le piante pure in ambienti che da questo punto di vista sono più sfavorevoli. Inoltre sono in grado di vivere in suoli inquinati da metalli pesanti. Le endomicorrize, caratterizzate da un accrescimento miceliare del tutto interno all'organo radicale, si riscontrano nella maggior parte delle piante agrarie. Poiché il contatto tra radice e fungo avviene all'interfaccia tra radice e suolo, è possibile la contemporanea presenza sulla stessa radice di due o più specie di simbiotici diverse. Il loro aspetto è simile a quello delle ectomicorrize, ma non presentano la micoclona e invece di penetrare solo negli spazi intercellulari, si introducono all'interno delle cellule epidermiche della radice, formando arbuscoli e gomitoli di ife e attivando con le cellule scambi di sostanze nutritive e acqua. Gli arbuscoli sono sempre più sottili delle ife, e hanno una durata che va da 4 a 15 giorni, poi vengono fagocitati dalla cellula ospite. Le ife all'interno della cellula si avvolgono a formare dei gomitoli detti vescicole, in cui vengono accumulate sostanze nutritive di riserva sotto forma di lipidi che servono al fungo come riserva o come spore agamiche per superare i periodi di stasi vegetativa della pianta.

Le radici micorizzate possono esplorare una maggior superficie di terreno tramite le loro ife che facilitano l'assorbimento e la traslocazione di più nutrienti rispetto a una pianta non micorizzata (Guo *et al.*, 2010; Joner e Jakobsen, 1995). Permettono anche un più facile assorbimento e disponibilità di ioni poco mobili, come il fosforo (McArthur e Knowles, 1993; Sharda e Koide, 2010). Le micorrize arbuscolari permettono di provvedere ad altre macro- e micro- nutrienti come azoto, potassio, magnesio, rame e zinco, soprattutto in quei terreni dove sono poco presenti nella loro forma mobile (Clark e Zeto, 1996; Marschner e Dell, 1994). In generale, le micorrize promuovono la crescita della pianta non solo provvedendo a render disponibili i nutrienti, ma aiutando anche a tollerare lo stress in un determinato ambiente attraverso la produzione di amminoacidi, vitamine e fitormoni.

1.3.1.1 *Glomus intraradices*

Glomus intraradices (Fig. 3) è una specie di fungo endomicorizico. Fa parte del gruppo delle micorrize arbuscolari che stimolano la crescita e lo sviluppo di diverse specie di piante. Questi

funghi penetrano nelle cellule della radice dove formano la caratteristica struttura arbuscolare per lo scambio di zuccheri e nutrienti con la pianta ospite.

Il *G. intraradices* risulta essere un prezioso alleato in agricoltura, infatti amplifica l'apparato radicale delle piante, assicurando un maggiore assorbimento di acqua e nutrienti e contemporaneamente protegge le radici dagli attacchi dei patogeni. Grazie alle sue numerose funzioni, *G. intraradices* viene impiegato come principale componente in molti prodotti micorrizici attualmente in commercio.

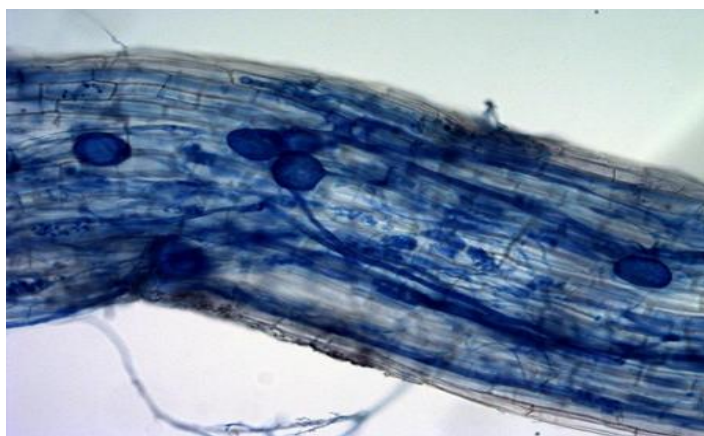


Figura 3: Vescicole e arbuscoli di *Glomus intraradices* in una sezione di radice.

1.3.2 Batteri azotofissatori

Gli azotofissatori sono organismi procarioti che sono in grado di fissare l'azoto atmosferico e di conseguenza renderlo disponibile per l'assorbimento da parte dei vegetali. Essi sono distinguibili in tre gruppi: gli azotofissatori liberi che possono essere aerobi o anaerobi, questi fissano solo minime quantità di azoto (tra 1-2 kg di azoto ha⁻¹ anno⁻¹) come ad esempio gli appartenenti al genere *Azotobacter*; gli azotofissatori asimbiotici o non nodulati, come il genere *Azospirillum*, che sono in grado di associarsi alle radici di specie graminacee con una capacità di fissare fino a 34 kg di azoto ha⁻¹ anno⁻¹; infine ci sono gli azotofissatori simbiotici e nodulati (e.g. *Bradyrhizobium*) che formano dei noduli radicali a livello radicale delle specie leguminose, e con una capacità di fissare sino a 100 kg di azoto ha⁻¹ anno⁻¹ sono considerati i responsabili della fissazione del 40% della totalità di azoto fissato in tutto il pianeta. L'azoto molecolare viene ridotto in NH₃ secondo la reazione: $N_2 + 8H^+ + 8e^- + 16 ATP \rightarrow 2NH_3 + H_2 + 16ADP + 16 Pi$. I complessi enzimatici responsabili di tale processo sono la nitrogenasi

e la nitrogeno-reduttasi. Quest'ultima riceve gli elettroni che derivano dal catabolismo con la mediazione della ferredossina o flavodossina e li trasferisce alla nitrogenasi, l'energia richiesta per fissare una molecola di azoto ridotto come si vede dalla reazione è di 16 ATP. Gli H_2 generati dalla reazione vengono rimessi in circolo per compiere nuove reazioni di fissazione. La nitrogenasi è un enzima molto sensibile all'ossigeno e proprio per questo, nel caso degli azotofissatori aerobici, si sono sviluppati dei sistemi di protezione: in *Azotobacter*, ad esempio, l'ossigeno entra nella cellula ad una concentrazione inferiore a quella di consumo e il batterio sintetizza inoltre un complesso proteico associato alla nitrogenasi, proteggendola dall'ossigeno. In *Rhizobium* invece, all'interno dei noduli radicali viene prodotta leghemoglobina, una proteina contenente ferro che si associa con le molecole di ossigeno prima che quest'ultime possano causare danni alla nitrogenasi.

1.3.2.1 *Azotobacter vinelandii*

Azotobacter è un genere batterico diazotrofo-libero il cui stadio di quiescenza è sotto forma di ciste. Si trova principalmente in terreni neutri ed alcalini, in ambienti acquatici e in alcune piante. Ha diverse capacità metaboliche, tra cui la fissazione dell'azoto atmosferico e la sua conversione in ammoniaca. Possiede un sistema composto da tre diverse forme dell'enzima nitrogenasi, oggetto di numerosi studi da parte dei ricercatori per meglio comprendere il processo della fissazione dell'azoto e la sua applicazione nei sistemi agricoli. Esso infatti non è solo in grado di sintetizzare la nitrogenasi contenente molibdeno come la grande maggioranza degli altri organismi azotofissatori, ma anche altre due alternative alla prima: una contenente vanadio in sostituzione del molibdeno e una che non contiene nessun metallo di transizione ma solamente ferro. La sintesi di queste due nitrogenasi alternative è comunque regolata dalla disponibilità dei corrispondenti elementi nel suolo.

Secondariamente, *A. vinelandii* è un azotofissatore interessante poiché ha evoluto una serie di meccanismi che permettono di fissare l'azoto atmosferico in ambiente aerobico nonostante la sensibilità all'ossigeno della nitrogenasi.

2. SCOPO DEL LAVORO

Scopo della presente ricerca è consistito nella valutazione dell'effetto derivante dall'applicazione di un preparato microbiologico sulla produzione di una varietà di frumento tenero panificabile, sottoposto a dosi crescenti di concimazione azotata.

Si sono studiati gli effetti del trattamento con Rhizosum-N (prodotto commerciale contenente micorrize e batteri azotofissatori appartenenti a varie specie) effettuato in post emergenza allo stadio di fine accestimento, sull'accrescimento e lo sviluppo delle piante ma soprattutto sulla resa e i relativi parametri qualitativi. A tal fine si spera di individuare un trattamento che, con un risparmio di fertilizzante di sintesi in presenza del biofertilizzante, consenta di ottenere rese quantitativamente e qualitativamente pari a quelle che si raggiungono abitualmente con dosi convenzionali di azoto.

3. MATERIALI E METODI

3.1 DESCRIZIONE DELLA PROVA

La prova è stata effettuata in un appezzamento coltivato presso l'azienda agraria sperimentale "Lucio Toniolo" dell'Università di Padova, situata, a Legnaro (PD). Era organizzata in tre blocchi randomizzati costituiti da otto parcelle ciascuno, ad ognuna delle quali era associata una relativa tesi (Tab. 2). Le tre ripetizioni avevano lo scopo di contenere (in sede di elaborazione dei dati) il più possibile la variabilità ambientale, dovuta soprattutto al diverso gradiente di fertilità del terreno che ospitava la prova. Le dimensioni delle parcelle erano pari a 10 metri di lunghezza e 3 di larghezza, all'interno dei blocchi distanziavano tra loro 0,5 metri sul lato maggiore e 3 metri sul lato minore. I blocchi erano separati tra loro da fasce di terreno incolto larghe 2,5 m (Fig. 4).

Tabella 2: Trattamenti oggetto della prova con relative dosi azotate a confronto.

Trattamento	Dose N totale (kg ha ⁻¹)	Periodo di distribuzione		
		Pre semina	Accestimento	Inizio levata
D ₁ -	50	30	20	
D ₂ -	80	30	25	25
D ₃ -	120	30	45	45
D ₄ -	160	30	65	65
D ₁ + Rhizosum-N	50	30	20	
D ₂ + Rhizosum-N	80	30	25	25
D ₃ + Rhizosum-N	120	30	45	45
D ₄ + Rhizosum-N	160	30	65	65

Rhizosum-N, il preparato biofertilizzante utilizzato in questa prova, è prodotto dall'azienda Biosum Technology S.L. - Madrid, Spagna, contiene funghi micorrizici della specie *Glomus intraradices* (2% p/p) e batteri azotofissatori della specie *Azotobacter vinelandii* (1×10^{10} UFC g⁻¹).

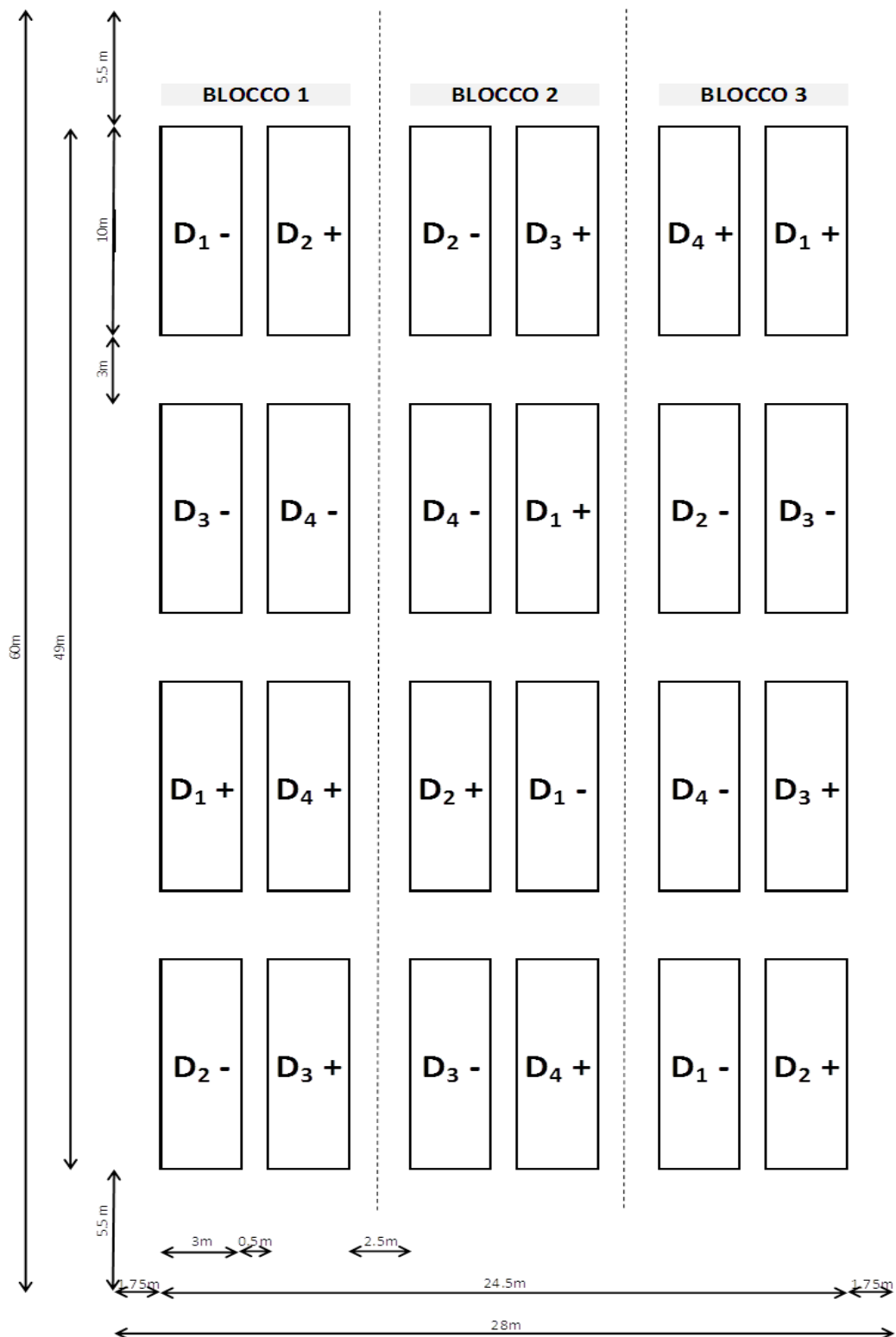


Figura 4: Schema sperimentale della prova: blocco randomizzato con 3 ripetizioni.



Figura 5: Panoramica della prova (vista del blocco 2, centrale).

Il terreno dell'azienda agraria su cui sono state allestite le parcelle dello schema sperimentale appena descritto presentava le proprietà fisico-chimiche riportate in *Tab. 3*.

Tabella 3. Principali proprietà del suolo dell'azienda "Lucio Toniolo".

Proprietà	Valore
Limo (%)	65
Sabbia (%)	15
Argilla (%)	20
pH	8.15
Sostanza organica (%)	1.77
N (%)	0.11
C/N	9.72
CSC (cmol(+) kg ⁻¹)	15.4
P totale (g P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	0.81
P disponibile (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	8.46
K scambiabile (mg K ₂ O kg ⁻¹)	59.9
Mg scambiabile (mg kg ⁻¹)	247
Ca scambiabile (mg kg ⁻¹)	2619
Na scambiabile (mg kg ⁻¹)	26.1
S (mg kg ⁻¹)	408

Il precedente colturale è stata la barbabietola da zucchero, che ha ricevuto i seguenti apporti di fertilizzante:

- 40.000 kg ha⁻¹ di liquame bovino (1 ‰ N) il 24/09/2013;
- 200 kg ha⁻¹ di solfato di potassio e 120 kg ha⁻¹ di urea il 12/03/2014;
- alla semina, 20 kg ha⁻¹ di Nitrophoska® Start (titolo 18-24-5) il 14/03/2014;
- 220 kg ha⁻¹ di nitrato ammonico (26% N) il 15/05/2015.

3.2 OPERAZIONI COLTURALI

Tutte le operazioni colturali agronomiche eseguite nelle parcelle oggetto della prova sono riportate di seguito in ordine temporale:

- 08/11/2014: aratura (profondità 40 cm) e affinamento del terreno;
- 10/11/2014: concimazione di presemina con fertilizzante complesso 8-24-24-8(SO₃), 400 kg ha⁻¹;
- 12/11/2014: semina varietà Bologna. Semente conciata con KINTO (Triticonazolo + Procloraz, dose 150 ml q⁻¹), 200 kg ha⁻¹;
- 10/02/2015: prima concimazione di copertura con nitrato ammonico (27% N, metà dose rimanente da quella di presemina);
- 19/02/2015: trattamento con RHIZOSUM-N alla dose di 50 g ha⁻¹ tramite abbondante irrorazione fogliare (1200 l ha⁻¹);
- 19/03/2015: seconda concimazione di copertura (dosi D₂, D₃, D₄) con nitrato ammonico;
- 02/04/2015: trattamento erbicida e fungicida con 50 g ha⁻¹ GRANSTAR ULTRA SX (Tifensulfuron metile, Tribenuronmetile); 1,25 l ha⁻¹ CODACIDE (Olio di colza); 0,75 l ha⁻¹ VIP 80 EC (Clodinafop-propargyl, Cloquintocet-mexyl) e 0,74 l ha⁻¹ AMISTAR XTRA (Ciproconazolo, Azoxystrobin);
- 14/05/2015: trattamento fungicida e insetticida con: 1,1 l ha⁻¹ BENPROP PRO (Procloraz, Propiconazolo); 0,5 l ha⁻¹ AMISTAR (Azoxystrobin) e 0,15 l ha⁻¹ KARATE ZEON (Lambda-cialotrina);
- 22/06/2015: raccolta.

Prima di procedere all'esecuzione dei trattamenti fungicidi si è verificata la compatibilità delle sostanze attive impiegate con l'attività dei funghi micorrizici (*Plant Health Care Inc.*, 2009). È da tenere comunque in considerazione che qualsiasi principio attivo fungicida non ha effetto eradicante sui funghi micorrizici, essi possono al massimo rallentarne l'attività o lo sviluppo. Fungicidi fogliari non o poco sistemici poi, non interagiscono in alcun modo con le micorrize che ormai al momento del trattamento hanno colonizzato il terreno e si sono associate alle radici.

3.3 RILIEVI ESEGUITI

3.3.1 Sviluppo delle piante

Altezza e peso delle piante

L'altezza media delle piante è stata misurata mediando i valori relativi ad un sub-campione di 10 piante estratto da un campione di circa 70 piante prelevato da una specifica area di saggio in ciascuna parcella. Il valore dell'altezza è stato ricavato misurando le piante selezionate con una stecca graduata dalla corona di accestimento (punto in cui sono state tagliate in campo) fino all'apice dell'ultima foglia sviluppata (*Fig. 6*). L'altezza è considerata un parametro indicante la produzione di biomassa relativamente all'attività metabolica della pianta. Questo dato è stato rilevato settimanalmente, dall'inizio della levata fino al termine della fioritura, nelle seguenti date: 19/03, 26/03, 2/04, 9/04, 16/04, 24/04, 30/04, 7/05, 15/05 e 21/05.

Le stesse piante sono state anche utilizzate per ricavare il valore del peso della biomassa fresca subito dopo la raccolta e il relativo peso secco dopo essiccazione delle stesse in stufa ad una temperatura di 105°C per 36 ore.



Figura 6: Misurazione dell'altezza di una pianta di frumento.

SPAD

Sui medesimi 10 culmi selezionati per misurare l'altezza e il peso delle piante sono state effettuate le misure del SPAD (*Soil Plant Analysis Development*). I valori sono stati letti a 1/3 e 2/3 della lunghezza della lamina dell'ultima foglia completamente estesa, i 20 risultati sono stati poi mediati per restituire un valore riferito all'intera parcella. Lo strumento impiegato è lo SPAD-502 (Minolta, Tokyo, Japan). Esso misura indirettamente il contenuto di clorofilla nelle foglie (*Fig. 7*), basandosi sul principio della trasmittanza fogliare, infatti misura la differenza tra luce emessa da un diodo e la radiazione che attraversa la lamina fogliare e viene percepita da un sensore posizionato dalla parte opposta. Il diodo emette radiazione con due diverse lunghezze d'onda, una di 650 nm (rosso) e l'altra di 940 nm (infrarosso). Mentre la prima è assorbita dai pigmenti di clorofilla presenti nei tessuti fogliari, la seconda è utilizzata come valore "standard" per una determinata specie, in quanto non viene assorbita in grandi quantità dalla clorofilla di tipo "A" ma riesce ad attraversare la lamina fogliare o può essere assorbita da altri pigmenti fotosintetici. Il valore è calcolato per differenza ed è riportato in unità adimensionali comprese tra 0 e 100. Si possono considerare tali valori come un'indicazione sul contenuto di clorofilla fogliare e quindi sullo stato di nutrizione della coltura. Purtroppo tale strumento rende informazioni puntiformi relative a superfici fogliari molto ristrette (ovvero pari all'area del diodo, 6 mm²); la misura SPAD, per avere un suo significato, deve essere pertanto ripetuta più volte. Sono stati eseguiti dieci rilievi durante il ciclo colturale, nelle stesse date riportate per la misurazione dell'altezza delle piante.



Figura 7: Misurazione del valore SPAD su una foglia di frumento.

NDVI

L'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) è un indice vegetazionale che ha riscontrato notevole successo negli ultimi anni, soprattutto in l'agricoltura di precisione grazie al quale si determina, ad esempio, la dose minima necessaria di fertilizzanti da apportare alla coltura in base allo sviluppo e considerando la variabilità ambientale. Esso è definito dall'equazione:

$$NDVI = (ref_{NIR} - ref_{RED}) / (ref_{NIR} + ref_{RED})$$

dove per ref_{NIR} s'intende la riflettenza sulle lunghezze d'onda (λ) del vicino infrarosso (*Near InfraRed*), e per ref_{RED} quella sulle lunghezze d'onda del rosso visibile. Matematicamente tale indice può variare tra -1 e +1, e può essere applicabile a una qualsiasi superficie che rifletta la luce. Per quanto riguarda le superfici coltivate esso può oscillare tra il valore del suolo nudo ($\sim +0,300$) e quello massimo della coltura (tendente a +1,000). Il principio su cui si basa l'indice è che una coltura in piena attività fotosintetica assorbe la radiazione necessaria alla fotosintesi (ref_{RED}) e riflette quella infrarossa (ref_{NIR}) per evitare il surriscaldamento del "canopy" (superficie fotosintetica). L'indice assumerà perciò valori crescenti all'aumentare della superficie coperta dalla coltura e/o della sua attività fotosintetica. Al contrario si riscontreranno valori bassi di NDVI nel caso di colture con scarsa copertura del suolo o tessuti vegetali in carenza/senescenza, quindi non più fotosinteticamente attivi. Le letture sono state effettuate con uno spettroradiometro attivo (*Greenseeker, Ntech Industries, Ukiah, CA-USA*) (*Fig. 8*): le λ usate nel calcolo dell'indice sono 660 nm per il rosso e 770 nm per l'infrarosso (NIR). La scelta dello strumento attivo si rivela vantaggiosa, in quanto, per la misura non è richiesta alcuna standardizzazione della quantità di radiazione incidente. La misurazione col *Greenseeker* è effettuata tenendo il sensore parallelo al suolo, a 40-60 cm sopra la vegetazione; l'indice NDVI viene registrato alla frequenza di 10 hz (10 letture al secondo). Nel corso della prova sono stati eseguiti dodici campionamenti, settimanalmente, dall'inizio della levata fino alla maturazione cerosa.



Figura 8: GreenSeeker utilizzato per la misurazione del valore NDVI.

3.3.2 Resa

Numero di spighe

Il numero di spighe per unità di superficie è stato determinato a spigatura ultimata e a fioritura già iniziata. Sono state tagliate alla base e asportate tutte le piante presenti in tre file, lunghe 50 cm ciascuna, scelte casualmente in ogni parcella. Successivamente sono state contate le spighe formate e rapportato il valore per ottenere quello riferito ad 1 m² di superficie coltivata.

Produzione

Al raggiungimento dello stadio di maturazione piena, attraverso l'impiego di una miettrebbiatrice parcellare (*Wintersteiger*), si è proceduto alla raccolta della granella prodotta in tutte le parcelle separatamente, dopo aver eliminato le piante presenti entro 30 cm dai bordi di quest'ultime. La quantità di prodotto utile ricavata da ognuna è stata pesata, per poi calcolare la produzione unitaria di ogni trattamento proporzionando il valore ottenuto a quello di una superficie pari ad un ettaro. I valori di resa si riferiscono alla quantità di granella prodotta in termini di sostanza secca.



Figura 9: Raccolta della granella con mietitrebbia parcellare.

Peso di 1000 semi

È un parametro che definisce la qualità della granella, essendo strettamente correlato con la grossezza dei semi e con il loro grado di riempimento (quantità di risorse allocate nel prodotto utile). È un dato estremamente utile, se non necessario, in fase di semina in quanto indica la quantità di semente da ripartire per unità di superficie, considerando la % di germinabilità e le aspettative di resa da raggiungere. Il valore è stato determinato pesando tre repliche di 100 semi ciascuna, estratte dal campione di granella conservato dopo la raccolta ed essicato all'aria. I tre valori sono stati mediati e il risultato moltiplicato dieci volte per ottenere quello riferito a 1000 cariossidi.

La concimazione azotata ha una notevole influenza sulle caratteristiche quanti-qualitative del frumento, all'aumentare della dose di fertilizzante si riscontra infatti, ad esempio, una diminuzione del peso medio delle cariossidi e del peso ettolitrico finale che però è bilanciata da un aumento del numero di cariossidi portate in una singola spiga (aumento della fertilità).

Harvest index

L'*Harvest Index* (HI) viene calcolato attraverso il rapporto tra il peso (sostanza secca) della granella e quello della biomassa totale riferite entrambi ad una medesima superficie. Per la sua determinazione si è prelevata la biomassa aerea in ogni parcella, tagliando le piante presenti in due file lunghe un metro ciascuna a livello della corona di accestimento. Dopo aver pesato la biomassa verde totale, attraverso l'utilizzo di una piccola trebbiatrice da laboratorio si è proceduto alla separazione della granella dalle altre parti epigee (paglia + lolla). Si sono determinati i pesi freschi delle due parti separate una dall'altra, il peso secco

della paglia e della lolla si è ottenuto dopo la loro completa essiccazione in stufa (105°C per 36 ore), mentre quello del prodotto utile si è ottenuto determinando il tasso di umidità tramite umidimetro di Brabender.

Peso ettolitrico

Il peso ettolitrico è stato determinato analizzando un campione di granella di circa 200 g attraverso strumentazione GAC 500XT (Dickey-John, Auburn, IL-USA) (Fig. 10). Il peso ettolitrico indica la massa di un volume noto di granella. Questo valore è pertanto influenzato da numerosi aspetti come l'umidità, la grossezza, la forma e la rugosità dei semi. Un buon peso ettolitrico rappresenta un buon grado di riempimento della cariosside e una buona conformità, traducibile in termini economici, anche se non rappresenta un valore assoluto in termini di qualità proprio a causa delle variabili varietali appena citate. Per fare un esempio basta considerare la presenza di eventuali spazi vuoti all'interno di cariossidi grosse e la compattezza dell'endosperma in cariossidi piccole che influiscono sulla densità.



Figura 10: GAC 500 XT per la determinazione del peso ettolitrico della granella.

3.3.3 Qualità della granella

Dalla granella raccolta in ogni parcella è stato separato un campione di circa 300 g che è stato quindi avviato ad analisi dei parametri qualitativi (contenuto proteico, glutine umido e relativo

indice di Zeleny) tramite strumentazione NIRS (*Near Infra Red Spectroscopy*). La tecnologia NIRS è stata sviluppata per diversi ambiti come quello medico, industriale ed alimentare. Nel nostro caso è lo strumento idoneo a calcolare le caratteristiche qualitative degli alimenti (*Fig. 11*). Questo strumento (Infratec 1241, *Foss Analytical, Hillerød-Danimarca*) usa lo spettro del vicino infrarosso (NIRS) stimolando i vari atomi e le molecole che compongono i composti biologici ed in base alla conseguente risposta in termini di assorbanza e riflettanza, riesce a calcolare con una precisione certa il contenuto dei diversi composti.



Figura 11: Strumentazione NIRS per l'analisi qualitativa delle cariossidi.

3.4 ANALISI STATISTICA

I dati sottoposti ad analisi della varianza (Anova) sono stati elaborati usando il programma statistico Costat (*Cohort Software*), comparando le medie tramite il test di Student-Newman-Keuls (con $P \leq 0,05$).

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 ANDAMENTO METEOROLOGICO DELLA STAGIONE

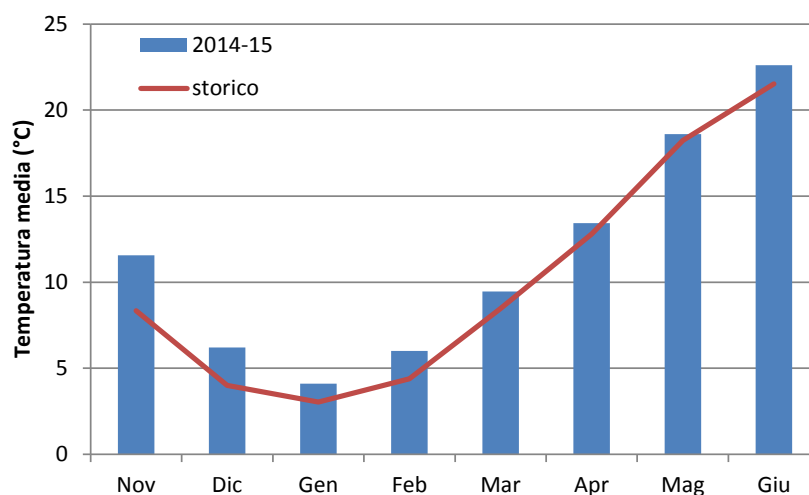


Figura 12. Confronto tra le temperature medie mensili del ciclo culturale con il relativo dato storico (1994-2013).

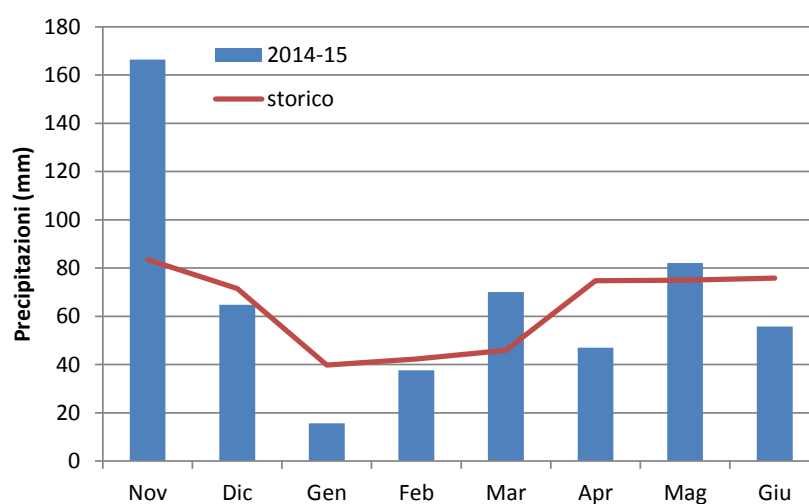


Figura 13. Confronto tra le precipitazioni mensili durante il ciclo culturale con il relativo dato storico (1994-2013).

L'annata 2014-2015, dal punto di vista climatico, è stata caratterizzata da un andamento delle temperature (Fig. 12) in linea con la media degli anni precedenti (1994-2013), nonostante per alcuni mesi si sia verificato un lieve aumento rispetto al dato storico, soprattutto per la prima

parte del ciclo colturale: per esempio la T media è risultata essere superiore in novembre (+3,2 °C), così come in dicembre (+2,2 °C) e febbraio (+1,6 °C).

Tali aumenti si sono comunque mantenuti entro il range di temperatura ottimale per lo sviluppo della pianta che non è stato quindi influenzato negativamente da questo fattore nelle varie fasi del ciclo fenologico.

Per quanto riguarda il livello di precipitazioni mensili, si sono invece registrati degli scostamenti anche piuttosto elevati rispetto alla media storica (*Fig. 13*).

Il mese di novembre è stato molto piovoso, con valori raggiunti addirittura doppi rispetto alla media storica (166 vs. 83 mm); anche durante il mese di marzo le piogge sono state particolarmente abbondanti (+52 %) mentre i mesi di gennaio, aprile e giugno sono stati caratterizzati da scarse precipitazioni (-60, -37 e -26% del valore storico, rispettivamente).

Precipitazioni eccessive durante la fase di germinazione-emergenza possono determinare fallanze dovute a probabili condizioni di asfissia negli orizzonti superficiali del terreno; in fasi tardive (levata-spigatura) piogge frequenti favoriscono la diffusione di malattie fungine in ragione della costante bagnatura fogliare. D'altra parte, carenze idriche legate alla scarsità di precipitazioni che si verificano tra fioritura e fase di riempimento della cariosside, possono avere gravi conseguenze sulla resa, in termini di quantità e qualità.

Ciò nonostante dai risultati dei parametri valutati in questa prova non sono emersi effetti negativi dovuti all'andamento meteorologico.

4.2 SVILUPPO DELLE PIANTE

I parametri presi in considerazione nell'analisi dello sviluppo delle piante per le diverse tesi messe a confronto sono stati l'altezza dei culmi, il peso fresco e secco della biomassa aerea, indicatori ottici quali SPAD ed NDVI. Allo scopo di fornire una panoramica d'insieme sono riportati nella *Tab. 4* i valori medi esatti rilevati per ogni parametro oggetto dei rilievi effettuati.

Tabella 4: . Parametri morfologici e ottici della vegetazione dei diversi trattamenti oggetto della prova (valori medi di rilievi settimanali dal 19/03/2015 al 04/06/2015, n=3, test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$).

Trattamento	Altezza (cm)		Biomassa 10 piante (g s.s.)		SPAD		NDVI	
	media	$P \leq 0,05$	media	$P \leq 0,05$	media	$P \leq 0,05$	media	$P \leq 0,05$
50 N	49,72	c	12,42	ab	35,0	c	0,53	c
50 N + Rhizosum-N	53,91	ab	12,66	a	38,3	b	0,62	bc
80 N	53,09	abc	12,74	a	38,6	b	0,63	bc
80 N + Rhizosum -N	52,28	bc	12,77	a	37,7	b	0,62	bc
120 N	55,63	ab	10,38	b	41,4	a	0,72	ab
120 N + Rhizosum -N	56,59	ab	12,31	ab	41,9	a	0,73	ab
160 N	55,76	ab	11,85	ab	41,8	a	0,72	ab
160 N + Rhizosum -N	57,24	a	12,05	ab	43,6	a	0,74	a

4.2.1 Altezza delle piante

Riguardo all'altezza delle piante, i trattamenti alla dose di concimazione pari a 50 kg ha⁻¹ di azoto sono quelli che hanno evidenziato differenza significativa ($P \leq 0,05$) (Fig. 14). Le dosi di concimazione superiore invece non hanno mostrato differenze significative anche se vi è comunque una diversità dei valori tra le tesi, con miglioramenti dovuti al trattamento (120 e 160 kg ha⁻¹ N) (Fig. 15). Solamente alla dose di 80 kg ha di N si è avuto un peggioramento di questo parametro nella tesi trattata rispetto a quella di controllo. Dai grafici relativi alla dinamica di accrescimento si nota in maniera chiara come i valori di altezza delle piante trattate con Rhizosum-N si siano mantenuti sempre superiori all'omologa tesi non trattata (50 kg ha⁻¹ N). Confrontando invece la tesi 120 N +Rhizosum-N e la tesi 160N le altezze durante la stagione di crescita si sono equiparate a simili valori, anche se addirittura in alcuni periodi i valori della prima hanno superato quelli della seconda. Considerando ciò, sarebbe ingiustificato l'apporto di 40 kg ha⁻¹ N in più per promuovere la crescita delle piante, constatando che gli stessi risultati si sono raggiunti con una dose azotata minore ma con l'integrazione dell'apporto microbiologico.

Lo stesso concetto si ripresenta anche a dosi inferiori: i buoni valori di altezza delle piante della tesi 50N+Rhizosum-N confermano l'efficacia del trattamento poiché si sono raggiunti valori anche superiori rispetto alle piante delle tesi concimate con la dose 80N (+ 30 kg ha⁻¹ N). In questo caso l'uso del preparato biologico contribuirebbe a ridurre di 30-40 unità di N

ad ettaro ottenendo gli stessi risultati rispetto a quelli raggiungibili con una dose superiore di azoto, specialmente in terreni meno fertili.

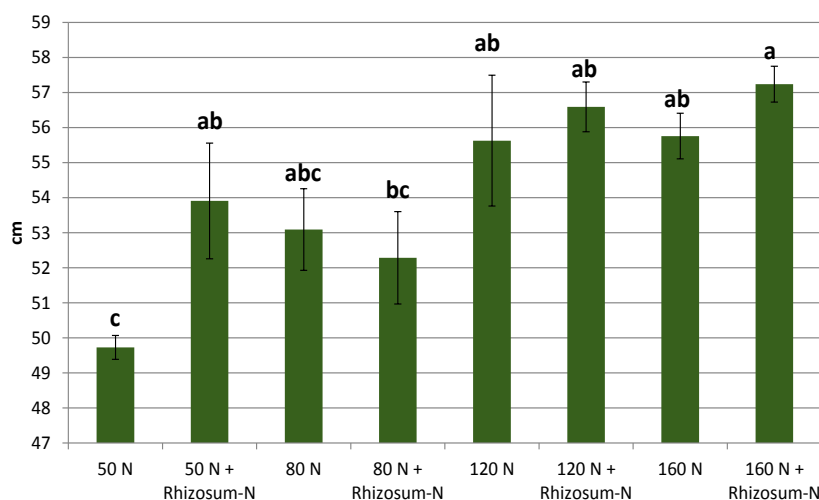


Figura 14: Valori di altezza (cm, \pm E.S., n=3) dei culmi delle diverse tesi a confronto (valori medi di 10 rilievi settimanali, test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$)

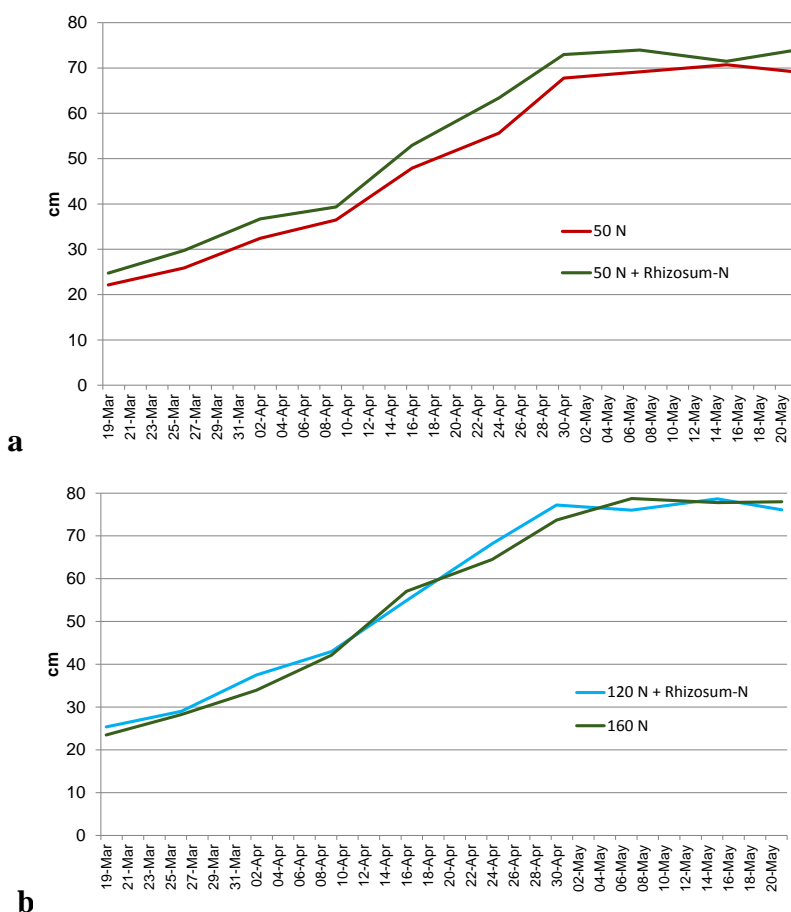


Figura 15: Confronto della dinamica di accrescimento in termini di altezza delle tesi (controllo e trattata) con apporti di N pari a 50 kg ha^{-1} (a); tra $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N} + \text{Rhizosum-N}$ e 160 kg ha^{-1} (b) (n=3)

4.2.2 Biomassa

Per la biomassa si è preso in considerazione sia il peso fresco per valutare il contenuto idrico nei tessuti epigei sia il peso secco per determinare il solo accumulo di sostanza secca. Riguardo il peso fresco si sono ottenute differenze statisticamente significative ($P \leq 0,05$) dovute al trattamento solo per le tesi con l'apporto più basso di concimazione azotata (42,2 vs. 46,5 g, controllo e trattato rispettivamente, 50 kg ha⁻¹ N), anche se una differenza positiva più o meno marcata la si è comunque notata tra il controllo ed il trattato a qualsiasi altra dose di concimazione (*Fig. 16*).

Come per l'altezza, anche in questo caso l'uso del biofertilizzante ha contribuito generalmente ad un aumento della biomassa a qualsiasi dose di azoto ma la differenza più marcata la si nota nel terreno meno fertile. Da tenere in considerazione che il trattamento 50N+Rhizosum-N ha portato alla produzione di una quantità di biomassa pari a quella prodotta dalle piante concimate con 80 kg ha⁻¹ di N, ovvero lo stesso risultato è stato raggiunto riducendo l'apporto di fertilizzante minerale corrispondente a 30 unità di azoto per ettaro.

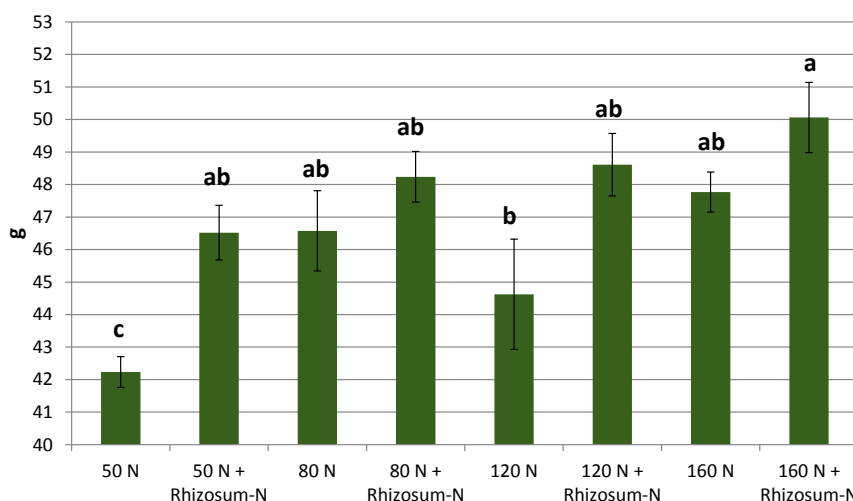


Figura 16: Valori di peso fresco (g, \pm E.S., n=3) della biomassa epigea di 10 piante delle diverse tesi a confronto (valori medi di 10 rilievi settimanali, test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$)

Anche i dati del peso secco non hanno dimostrato differenze significative tra le tesi di controllo e quelle trattate ad ogni livello di concimazione; nonostante le ultime abbiano presentato sempre valori migliori rispetto alle prime (soprattutto alla dose di 120 kg ha⁻¹ N) (*Fig. 17*).

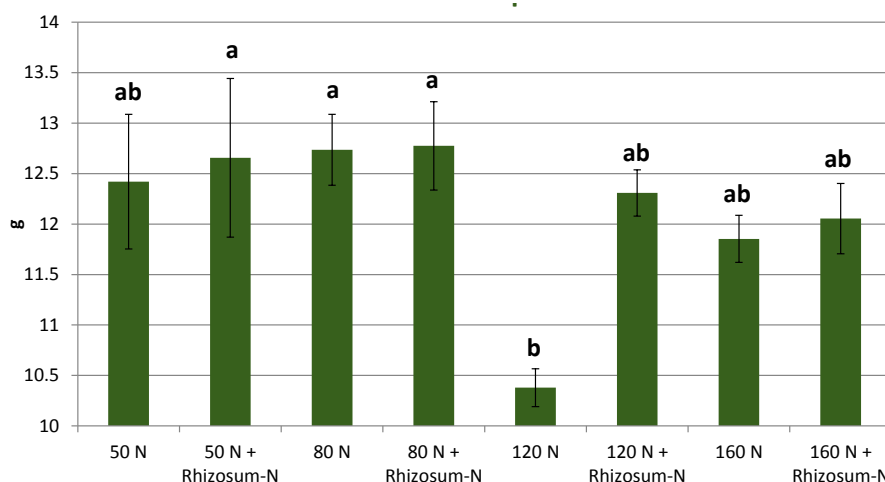


Figura 17: Valori di peso secco (g, \pm E.S., n=3) della biomassa epigea di 10 piante delle diverse tesi a confronto (valori medi di 10 rilievi settimanali, test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$)

4.2.3 SPAD

La dose di concimazione pari a $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ è l'unica che ha mostrato una differenza significativa ($P \leq 0,05$) riguardante questo parametro tra la tesi di controllo e quella trattata con Rhizosum-N (35 vs. 38,3, rispettivamente). A dosi di azoto maggiori, una media inferiore si è riscontrata nella tesi 80N+Rhizosum-N rispetto a quella solamente fertilizzata con 80N, seppur non significativa, a dosi di 120 e 160 kg ha^{-1} le tesi trattate hanno raggiunto valori SPAD più elevati rispetto a quelle di controllo, anche qui però non statisticamente differenti (Fig. 18).

Le tesi del livello di concimazione pari a $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ sono riportate anche in Fig. 19, dove il grafico confronta gli andamenti dell'indice SPAD durante la stagione. Si nota che esso nelle piante trattate si mantiene sempre superiore a quello rilevato nelle non trattate durante tutto il ciclo.

Ovviamente il valore SPAD, come atteso, aumenta in relazione alle dosi di azoto crescenti, però valori simili si sono ottenuti tra le tesi 50N+Rhizosum-N e 80 N grazie all'effetto del prodotto biofertilizzante applicato.

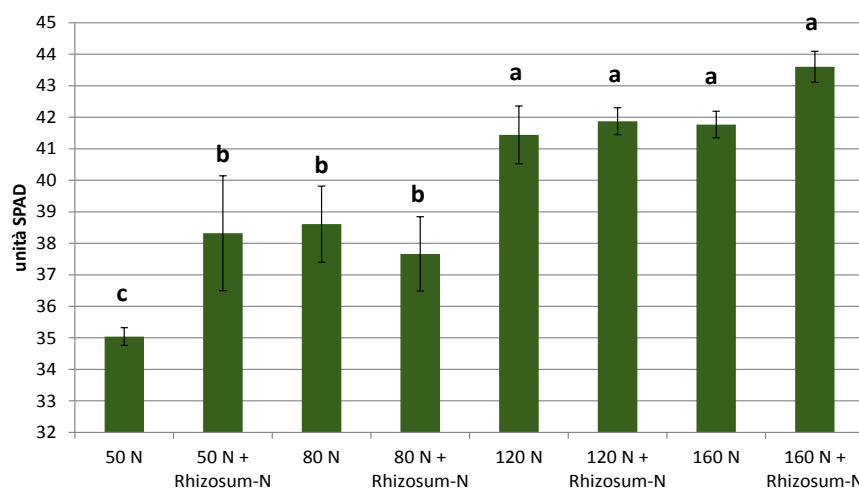


Figura 18: Valori SPAD (unità SPAD, \pm E.S., $n=3$) delle diverse tesi a confronto (valori medi di 10 rilievi settimanali, test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$)

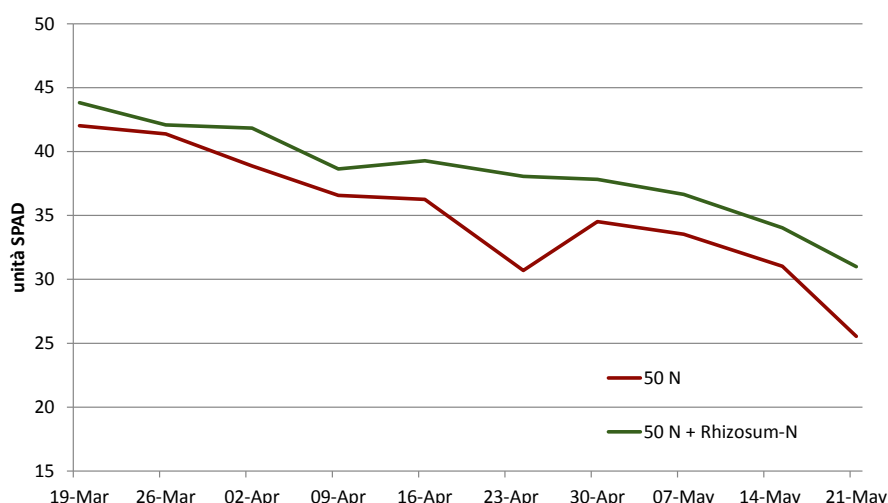


Figura 19: Andamento dell'indice SPAD dal 19 marzo al 21 maggio 2015. Confronto tra tesi di controllo e trattata con Rhizosum-N alla dose di 50 kg ha^{-1} di N ($n=3$)

4.2.4 NDVI

I valori NDVI ottenuti rispecchiano all'incirca quelli SPAD essendo entrambi determinati dal contenuto di clorofilla nelle foglie, a sua volta influenzato dallo stato nutrizionale della coltura. Non spiccano differenze significative ($P \leq 0,05$) tra tesi trattata e di controllo a parità di concimazione azotata, anche se quelle con applicazione di Rhizosum-N presentano valori mediamente superiori a quelle non trattate. La differenza più marcata tra le due si ha ancora una volta alla dose di N più bassa (50 kg ha^{-1}), dove i valori di NDVI raggiungono quelli ottenuti con 80 kg ha^{-1} grazie al trattamento (Fig. 20). I valori NDVI sono anche rappresentati

nell'arco temporale tra il 19 Marzo e il 5 Giugno, nei quali è evidente come quelli delle tesi trattate si mantengano spesso più elevati rispetto a quelli delle parcelle non trattate (*Fig. 21*). Anche nel caso dell'NDVI i valori medi delle dosi 120N e 160N sono chiaramente superiori rispetto alle due dosi inferiori per effetto del fattore “azoto”.

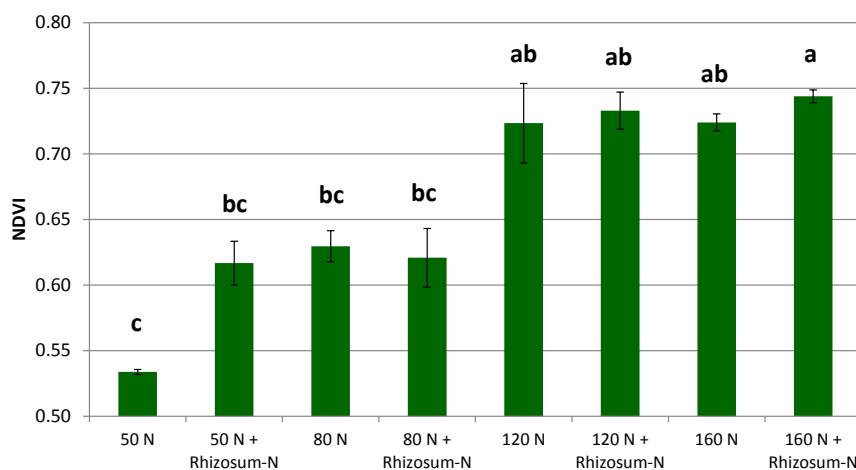


Figura 20: Valori NDVI (\pm E.S., $n=3$) delle diverse tesi a confronto (valori medi di 12 rilievi settimanali) (test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$).

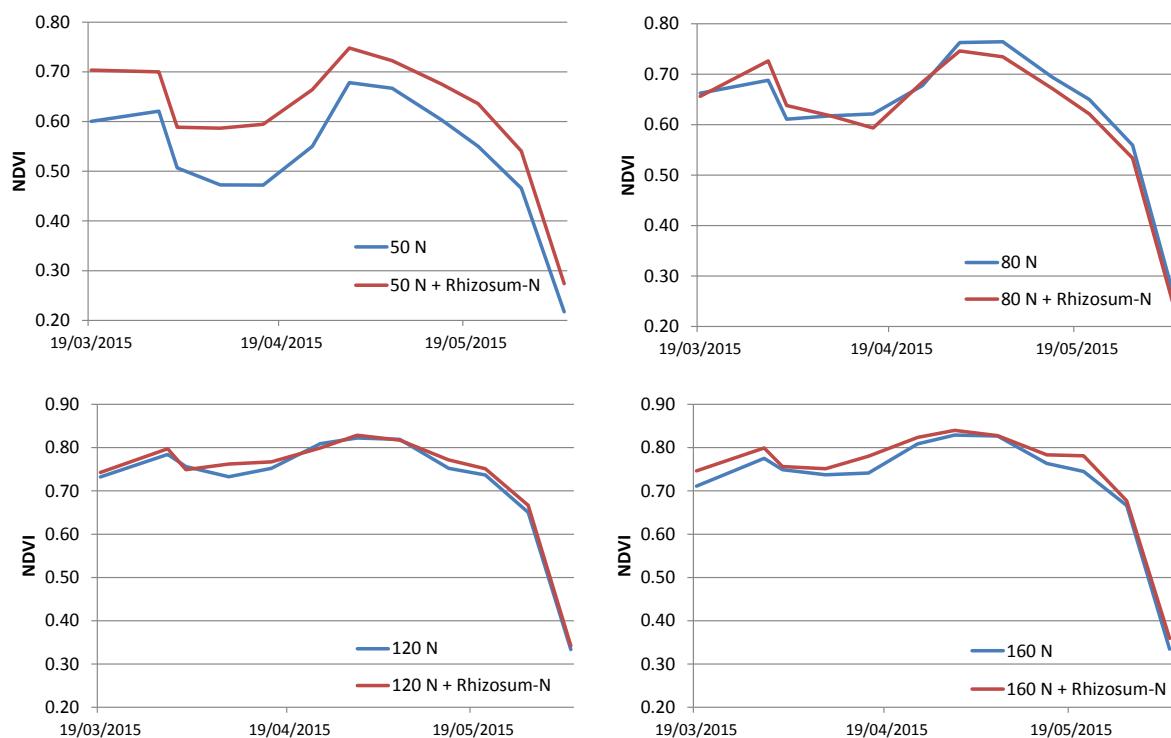


Figura 21: Andamento di NDVI nelle diverse tesi nell'intervallo: 19 marzo - 5 giugno 2015. Confronto tra controllo e trattato con Rhizosum-N alle varie dosi di concimazione ($n=3$).

4.3 PARAMETRI QUANTITATIVI DI RESA

Nella tabella sottostante (Tab. 5) sono riportati i valori medi di ogni parametro quantitativo di resa considerato.

Tabella 5: Parametri quantitativi di resa dei diversi trattamenti oggetto della prova (n=3, test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$).

Trattamento	N spighe m^{-2}		Resa ($q\ ha^{-1}\ s.s.$)		Peso 1000 semi (g)		Peso ettolitrico ($kg\ hl^{-1}$)		<i>Harvest Index</i>	
	media	$P \leq 0,05$	media	$P \leq 0,05$	media	$P \leq 0,05$	media	$P \leq 0,05$	media	$P \leq 0,05$
50 N	567	ab	40,14	c	35,98	a	79,43		0,355	
50 N +Rhizosum-N	509	b	46,38	b	34,49	bc	80,00		0,361	
80 N	683	ab	49,63	ab	34,75	abc	79,47		0,357	
80 N +Rhizosum-N	608	ab	44,94	b	35,09	ab	79,20	n.s.	0,364	n.s.
120 N	798	a	58,82	a	34,06	bc	80,47		0,361	
120 N +Rhizosum-N	699	ab	59,39	a	33,21	c	80,17		0,371	
160 N	695	ab	60,21	a	33,14	c	80,37		0,385	
160 N +Rhizosum-N	786	a	59,59	a	33,56	bc	79,73		0,366	

4.3.1 Numero di spighe

Il numero di spighe per unità di superficie non ha riscontrato differenze statisticamente significative ($P \leq 0,05$) dovute al trattamento, anche se le medie sono diverse tra le tesi a parità di concimazione. Tre tesi trattate su quattro presentano una differenza negativa rispetto alle tesi senza applicazione di Rhizosum-N (Fig. 22).

Riguardo questo parametro analizzato, è l'azoto che ha la maggiore influenza: il numero di spighe per m^2 aumenta al crescere della dose azotata apportata, poiché questo elemento migliora l'accestimento e riduce la mortalità dei culmi. Viceversa, probabilmente, il biofertilizzante ha influito maggiormente sulla fertilità della pianta e sulla fertilità della spiga. Considerando anche la resa di ogni trattamento (cfr. 4.3.2), il numero di cariossidi formate per spiga è risultato superiore nelle tesi trattate con Rhizosum-N consentendo di raggiungere buone produzioni nonostante il minor numero di spighe presenti per unità di superficie e il minor peso delle cariossidi.

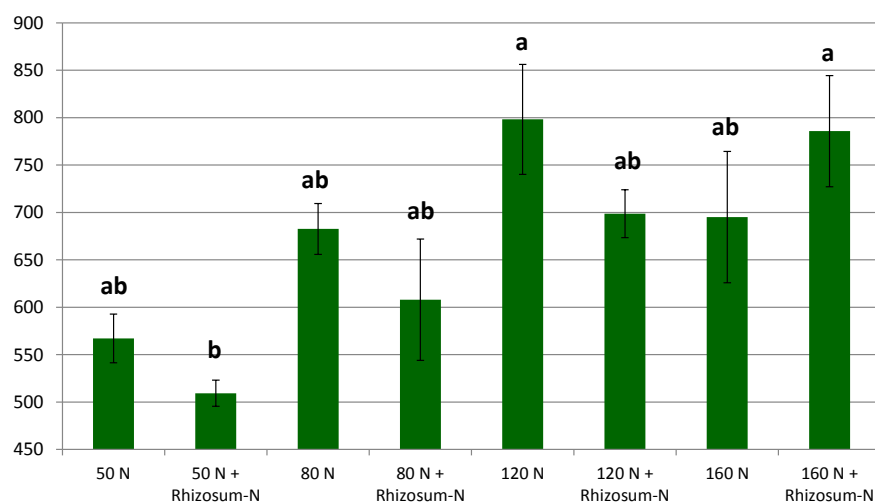


Figura 22: Numero di spighe formate m⁻² in fase di spigatura (\pm E.S., n=3) delle diverse tesi a confronto (test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$).

4.3.2 Produzione

L'impiego di Rhizosum-N ha determinato differenze statisticamente significative ($P \leq 0,05$) riguardanti la resa finale di granella solo tra la tesi 50N+Rhizosum-N rispetto all'omologa solamente concimata raggiungendo una media di circa 6 q ha⁻¹ in più (produzione finale simile alla tesi 80N+Rhizosum-N) (Fig. 23). A dosi di azoto superiori (120 e 160 kg ha⁻¹ N) si ha un incremento di resa proporzionale alla maggiore disponibilità di azoto (Fig. 24) e a questi livelli, come si vede dal grafico, le differenze ottenute con il trattamento biofertilizzante sono nulle (Fig. 23). Le rese ottenute con 120 kg ha⁻¹ di N sono le stesse ottenute con la dose 160 kg ha⁻¹, quindi non si giustifica in termini produttivi l'apporto di 40 unità in più per ettaro.

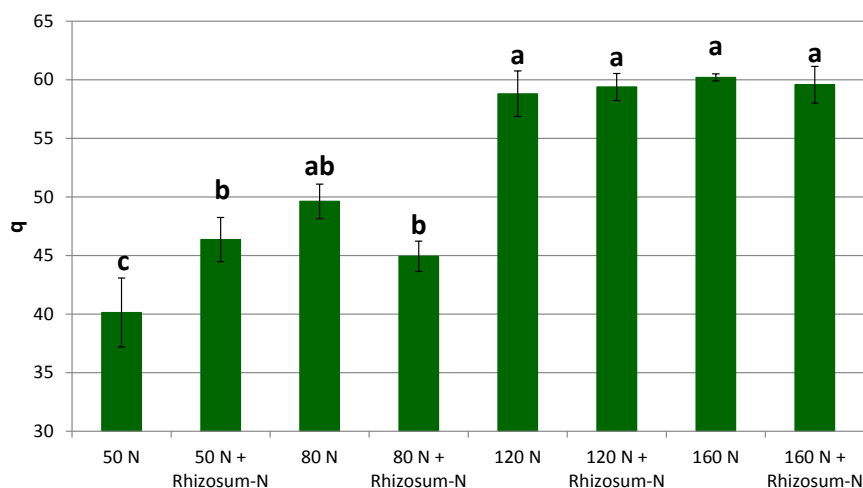


Figura 23: Resa unitaria in granella (q ha⁻¹ s.s. \pm E.S., n=3)) delle diverse tesi a confronto, (test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$).

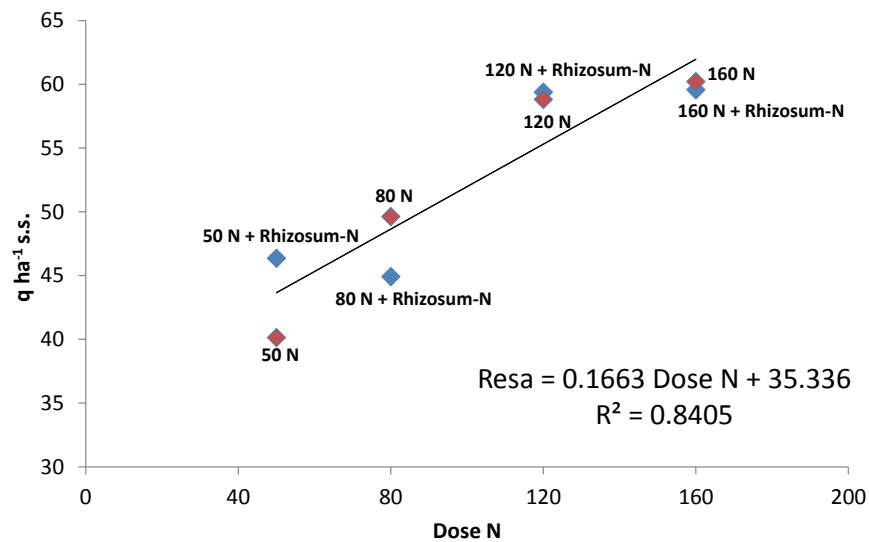


Figura 24: Valori di resa unitaria di ogni tesi in funzione della dose di N impiegata.

4.3.3 Peso di 1000 semi

Per quanto riguarda il peso di 1000 semi è stata riscontrata una differenza significativa ($P \leq 0,05$) dovuta al trattamento alla dose di 50 kg ha⁻¹ di azoto. La tesi 50N raggiunge un peso di 1000 semi di 35.98 g mentre la tesi 50N+Rhizosum-N un peso di 34.49 g (*Fig. 25*) ma senza dubbio, constatando i valori di resa e di numero di spighe m⁻² riferiti alle stesse tesi, a questa variazione negativa è contrapposto un aumento del numero di cariossidi portate in ogni singola spiga.

All'aumentare della dose di azoto, come si vede dalla linea di regressione in *Fig. 26*, il peso di 1000 semi tende a diminuire poiché il peso di ogni singola cariosside decresce essendone presenti in numero maggiore in ogni spiga. L'azoto ha un'importanza fondamentale sulla fertilità della pianta e di ogni singola infiorescenza.

Le tesi alle altre dosi di N non presentano differenze significative dovute al trattamento (*Fig. 25*).

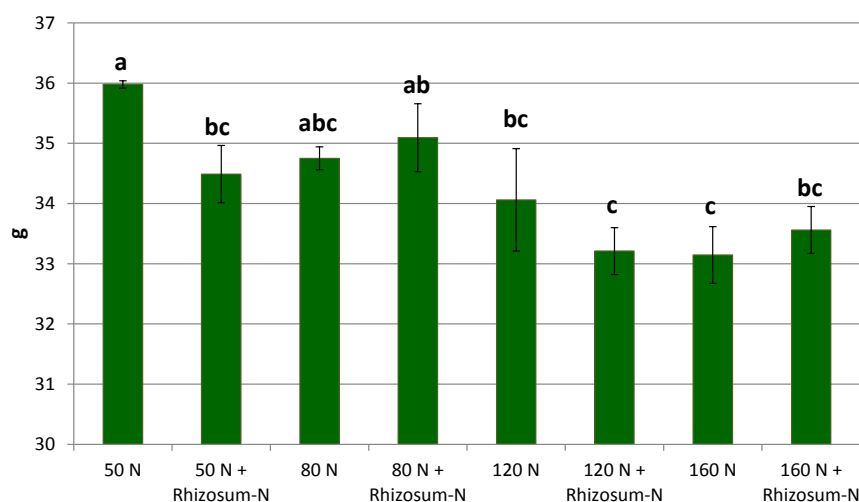


Figura 25: Peso di 1000 semi (g, \pm E.S., n=3) delle diverse tesi a confronto (test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$)

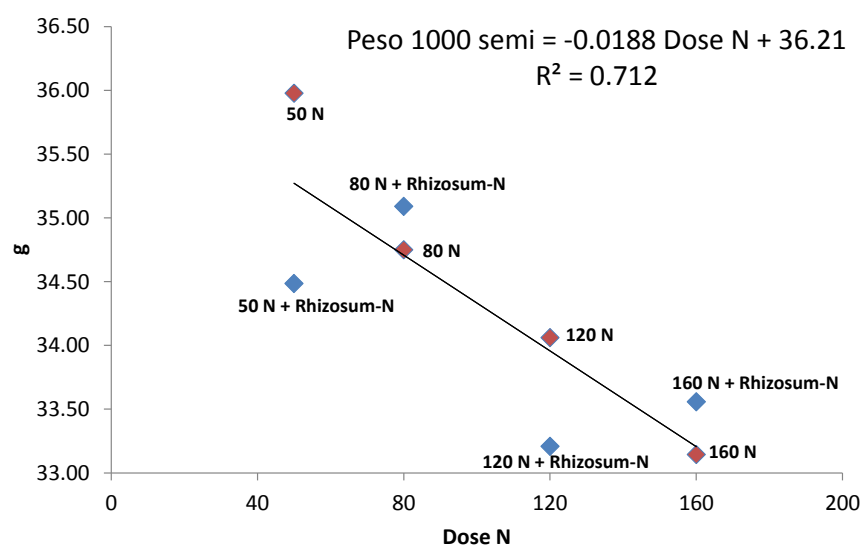


Figura 26: Peso di 1000 semi di ogni tesi in funzione della dose di N impiegata

4.3.4 Peso ettolitrico

Dalla determinazione del peso ettolitrico non è stata riscontrata alcuna differenza statisticamente significativa ($P \leq 0,05$) tra le tesi omologhe dovuta all'apporto del biofertilizzante (Fig. 27). Si ha un aumento del peso ettolitrico della tesi trattata alla dose di 120 kg ha^{-1} di azoto mentre per le altre vi è una diminuzione rispetto al controllo.

L'azoto ha un'influenza molto marcata su questo parametro (evidente l'incremento del valore tra le tesi concimate con 80N e 120N) dovuta ad un maggiore riempimento delle cariossidi in fase di maturazione, determinante per l'ottenimento di una granella di buona qualità. Il trattamento con Rhizosum-N non ha in definitiva influito sul peso ettolitrico.

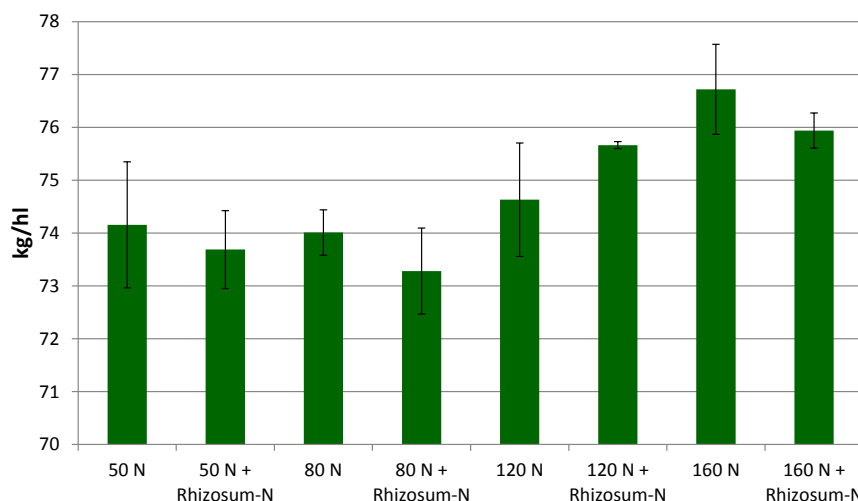


Figura 27: Peso ettolitrico (kg hl^{-1} , $\pm\text{E.S.}$, $n=3$) della granella nelle diverse tesi a confronto (test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$).

4.3.5 *Harvest index*

Anche la determinazione dell'*Harvest Index* non ha generato differenze statisticamente significative ($P \leq 0,05$), infatti i valori si mantengono più o meno lineari tra 0,36 e 0,38 sia per le tesi trattate che di controllo (Fig. 28). In questo caso l'unica considerazione da fare è la tesi 160N ha permesso alle pianta di raggiungere un HI superiore alle altre tesi per la maggiore quantità di biomassa del prodotto utile in rapporto alla biomassa totale prodotta. Quindi, anche considerando l'HI, l'uso del biofertilizzante non ha portato miglioramenti.

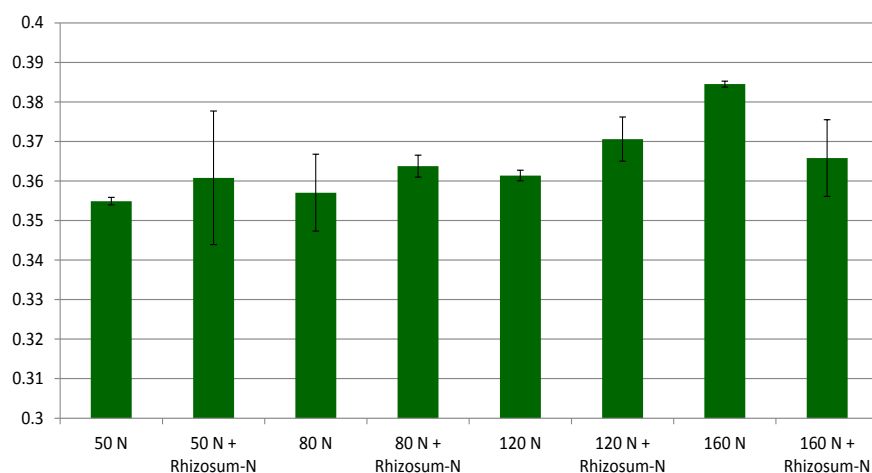


Figura 28: *Harvest index* (\pm E.S., n=3) ottenuto nelle diverse tesi a confronto (test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$)

4.4 PARAMETRI QUALITATIVI DELLA GRANELLA

I tre parametri qualitativi presi in considerazione (proteina totale, glutine umido e relativo indice di Zeleny), com'era lecito attendersi, sono incrementati all'aumentare della dose di azoto fornita alla coltura (Calò *et al.*, 2002) (Tab. 6).

Tabella 6: Parametri qualitativi della granella osservati per i diversi trattamenti oggetto della prova (n=3).

Trattamento	Proteine (% s.s.)		Glutine umido (14% U)		Indice di Zeleny	
	media	$P \leq 0,05$	media	$P \leq 0,05$	media	$P \leq 0,05$
50 N	13.33	bc	20.47	bcd	32.30	bc
50 N + Rhizosum-N	13.17	bc	20.03	cd	31.73	bc
80 N	13.26	bc	20.37	bcd	31.20	c
80 N + Rhizosum-N	12.69	c	18.30	d	28.37	c
120 N	13.94	ab	21.97	abc	37.80	ab
120 N + Rhizosum-N	14.05	ab	22.57	ab	38.63	ab
160 N	14.02	ab	22.10	abc	38.50	ab
160 N + Rhizosum-N	14.50	a	23.60	a	40.93	a

4.4.1 Proteina grezza

Il contenuto proteico della granella ottenuto dalle varie tesi oggetto della prova sperimentale ha raggiunto generalmente buone percentuali, garantendo in questo modo una buona qualità della granella. Il trattamento con il biofertilizzante ha determinato dei risultati contrastanti tra loro: alle dosi di 50 e 80 kg ha⁻¹ di N la tesi trattata presenta un contenuto proteico lievemente minore rispetto a quello della tesi di controllo, viceversa per le tesi delle dosi 120 e 160 kg ha⁻¹ di N. Non vi è comunque in alcun caso differenza significativa ($P \leq 0,05$) tra le tesi a parità di concimazione (*Fig. 29*).

Come si vede in *Fig. 28*, la quantità di azoto fornita influenza in maniera direttamente proporzionale la quantità di proteina. È assodato che quando le piante hanno buone dotazioni di azoto, specialmente in fase di botticella-spigatura, tendono ad aumentare il tenore proteico nella granella. Rhizosum-N, alla dose di 160 kg ha⁻¹ di N, ha contribuito ad alzare il tenore proteico di circa 0,5%, mentre alla dose di 80 kg ha⁻¹ si è abbassato dell'1% circa. Non possiamo pertanto affermare che vi sia stato un miglioramento in contenuto di proteina dovuto all'applicazione di micorrize e batteri azotofissatori.

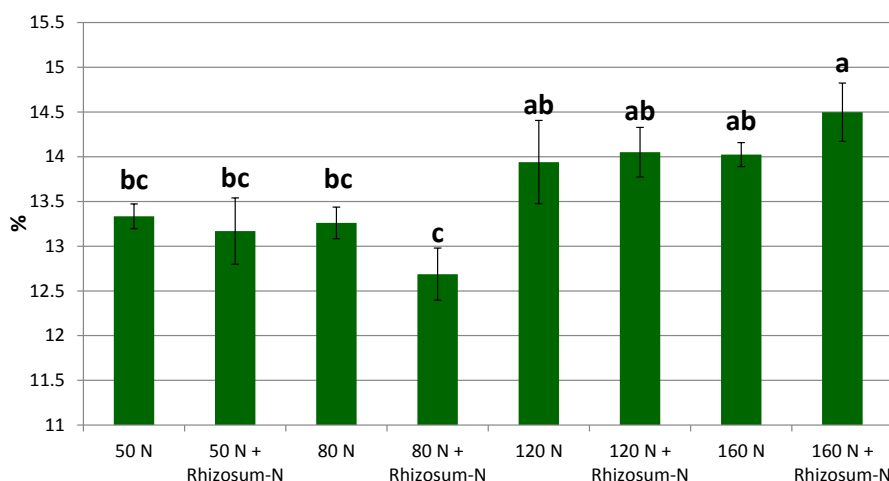


Figura 29: Contenuto proteico totale della granella (% s.s., \pm E.S., n=3) delle diverse tesi a confronto (test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$).

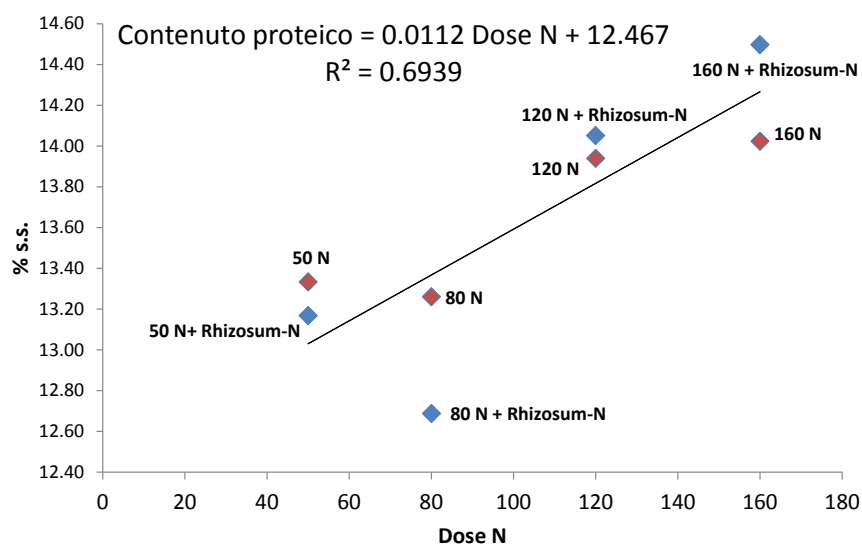


Figura 30: Contenuto proteico della granella (% ss) di ogni tesi in funzione della dose di N impiegata.

4.4.2 Glutine umido

Risultati simili a quelli appena descritti, poiché presentano le stesse variazioni notate riguardo la percentuale di proteina totale, sono stati ottenuti anche con la determinazione della percentuale di glutine umido. Non sono state rilevate differenze statisticamente significative ($P \leq 0,05$), derivanti dall'uso del biofertilizzante (*Fig. 31*), tra le percentuali di glutine, che nelle tesi maggiormente concimate con azoto raggiungono generalmente livelli apprezzabili.

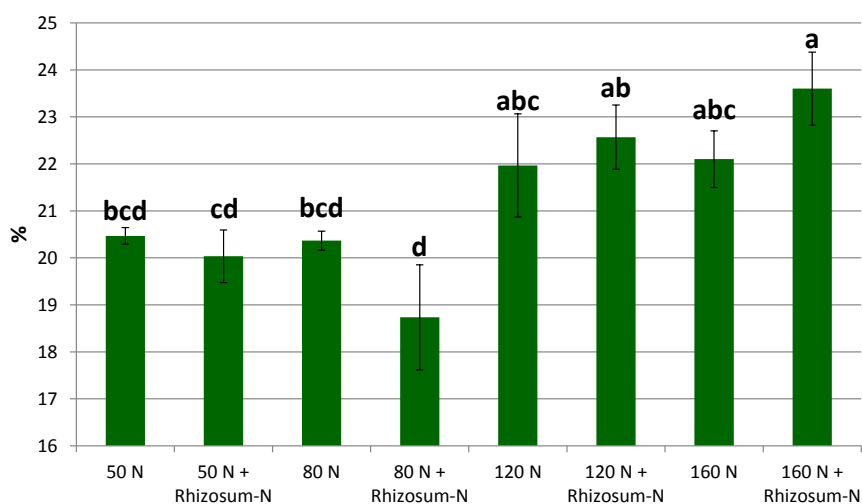


Figura 31: Percentuale di glutine (\pm E.S., $n=3$) della granella (14% umidità) delle diverse tesi a confronto (test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$)

4.4.3 Indice di Zeleny

L'indice di Zeleny, analogamente al contenuto proteico totale e di glutine umido, non ha subito variazioni statisticamente significative ($P \leq 0,05$) con l'impiego del biofertilizzante (Fig. 32). Anche per questo parametro si vede una relazione direttamente proporzionale alla quantità di azoto disponibile per le piante. Infatti, l'incremento del contenuto di glutine, a sua volta diviso da glutenine e gliadine, ha determinato un aumento dell'indice di sedimentazione di Zeleny, valore indicante la qualità proteica delle farine.

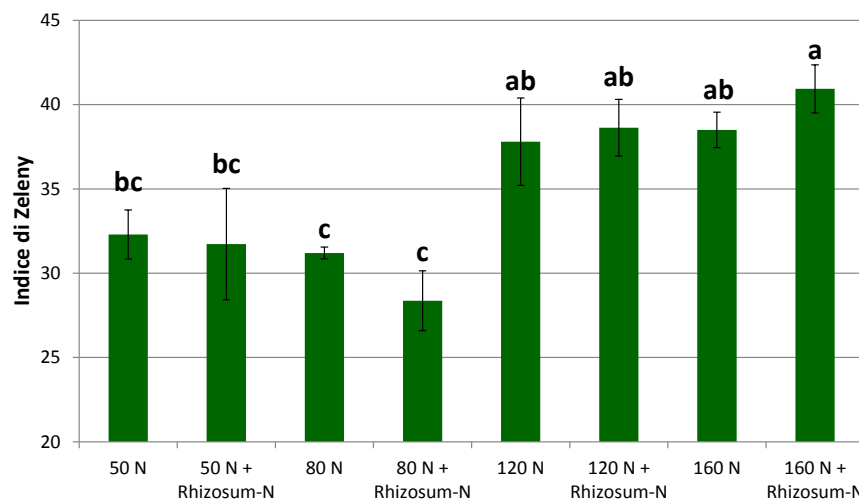


Figura 32: Indice di Zeleny (\pm E.S., $n=3$) ottenuto dall'analisi della granella delle diverse tesi a confronto (test di Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$)

5. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti in questa prova non hanno messo in evidenza una particolare efficacia dell'applicazione del preparato microbiologico Rhizosum-N. Infatti, mentre il fattore azoto, come ci si aspettava, ha dimostrato la classica influenza in termini di sviluppo morfologico, resa e qualità della granella, non si può dire che il trattamento a base di micorrize e batteri azotofissatori sia stato altrettanto influente.

I risultati più significativi dovuti al trattamento con Rhizosum-N sono stati osservati soprattutto ai più bassi livelli di azoto. Alla dose minima impiegata ($50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) si sono infatti verificati gli unici incrementi significativi di alcuni caratteri monitorati durante la prova, in particolare l'altezza dei culmi, la biomassa epigea e il contenuto di clorofilla fogliare. I valori degli indici SPAD e NDVI sono risultati infatti ben correlati con lo stato nutrizionale della coltura. Si è osservato infine anche un incremento della resa in granella pari al +15,5%.

Tuttavia alle dosi più elevate di N gli effetti del trattamento, per quanto positivi, non sono serviti a compensare in modo significativo la riduzione dell'input chimico sebbene in generale siano stati osservati lievi effetti imputabili all'applicazione del preparato biofertilizzante, in particolar modo riguardanti la composizione qualitativa della granella (+ 0,5% proteina grezza e + 1,5% glutine, tesi trattata rispetto a quella non trattata alla dose di $160 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$).

La ragione di così scarse evidenze sperimentali è da ricercare non tanto in una ridotta efficacia del prodotto saggiato, quanto piuttosto nelle caratteristiche del sito di coltivazione dove si è svolta la prova. L'ambiente agrario della pianura Padano-Veneta è caratterizzato da terreni che in generale presentano un livello medio-alto di fertilità, anche grazie alla frequente introduzione nell'avvicendamento di colture miglioratrici quali soia, bietola e segnatamente il mais. Si tratta quindi di un ambiente in cui una coltura dalle richieste nutrizionali relativamente modeste, come il frumento tenero, trova già predisposte le condizioni ottimali per soddisfare le proprie esigenze e non trae particolare vantaggio dall'instaurarsi di rapporti di associazione più o meno stretta con microrganismi simbiotici. Si suppone pertanto che l'applicazione di un prodotto con questa formulazione, originato in Spagna, quindi in un ambiente totalmente differente da quello di molti altri presenti in Europa e con queste modalità d'impiego potrebbe rendere apprezzabili (e si spera stabili) gli effetti su frumento

tenero, contribuendo maggiormente ai fini produttivi di quanto non si sia verificato nella presente ricerca, in aree cosiddette marginali o caratterizzate da particolari condizioni non del tutto ottimali.

6. BIBLIOGRAFIA

Abuzinadah R.A., Read D.J., 1986. The role of proteins in the nitrogen nutrition of ectomycorrhizal plants. I. Utilization of peptides and proteins by ectomycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 103, 481-493.

Aghili F., Jansa J., Khoshgoftarmanesh A.H., Afyuni M., Schulin R., Frossard E., Gamper H., 2014. Wheat plants invest more in mycorrhizae and receive more benefits from them under adverse than favorable soil conditions. *Applied Soil Ecology*, 84, 93-111.

Azcon R., Okampo J.A., 1981. Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependence of thirteen wheat cultivars. *New Phytologist*, 87, 677-685.

Bethlenfalvay G.J., Linerman R.G., 1992. Mycorrhizae in sustainable agriculture. ASA special publication, 54, 8-13.

Calò D.G., Scotto F., Gravaglia S., 2002. Contenuto proteico del grano e variabili agronomiche: un'analisi statistica. *Statistica* 3.

Clark R.B., Zeto S.K., 1996. Growth and root colonization of mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 1505-1511.

Glick B.R., 1995. Response of wheat to inoculation with mycorrhizae alone and combined with selected rhizobacteria including *Flavobacterium* sp. as a potential bioinoculant. *Canadian Journal of Microbiology*, 41, 109-117.

Gosling P., Hodget A., Goodlass G., Bending G.D., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agricultural Ecosystem and Environment*, 113, 17-35.

Guo Y., Ni Y., Huang J., 2010, Effects of *Rhizobium*, arbuscular mycorrhiza and lime on nodulation, growth and nutrient uptake of lucerne in acid purplish soil in China. *Trop Grasslands*, 44, 109-114.

Hetrick B.A.D., Wilson J.V.T., Leslie J.F., 1991 Root architecture of warm and cool season grasses: relationship to mycorrhizal dependency. *Canadian Journal of Botany*, 69, 112-118.

Javaid A., 2009. Arbuscular mycorrhizal mediated nutrition in plants. *Journal of Plant Nutrition*, 32, 1595-1618.

Rilling M.C., Mummey D.L., 1992. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171, 41-53.

Joner E.J., Jakobsen I., 1995. Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 27, 1153-1159.

Marschner H., Dell B., 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159, 89-102.

McArthur D.A.J., Knowles N.R., 1993. Influence of VAM and phosphorus nutrition on growth, development and mineral nutrition of potato. *Plant Physiology*, 102, 771-782.

Nadeem S.M., Ahmad M., Zahir Z.A., Javaid A., Ashraf M., 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, 32, 429-448.

Oueslati O., 2003. Allelopathy in two durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties. *Agricultural Ecosystem and Environment*, 96, 161-163.

Plant Health Care Inc., 2009. Effects of fungicides on mycorrhizal fungi and root colonization. Disponibile sul sito internet www.planthealthcare.com

Sharda J.N., Koide R.T., 2010. Exploring the role of root anatomy in P-mediated control of colonization by arbuscular mycorrhizal fungi. *Botany*, 88, 165-173.

Shubert A., 2000. Le micorrize. In Mosca G. e Vamerali T., *Obiettivo radice: metodi di studio e risultati ottenuti in ambiente mediterraneo*. CLEUP Padova, 60-65.

Toderi G., D'Antuono L.F., 2001. Frumento (*Triticum* sp.pl.). In Baldoni R., Giardini L. *Coltivazioni Erbacee: cereali e proteaginose*. Patron ed. Bologna, 35-107.

Wani S.P., Chandrapalaih, S., Zambre M.A., Lee K.K., 1988. Association between N₂ fixing bacteria and pearl millet plants: responses, mechanisms and persistence. *Plant and Soil*, 110, 289-302.

Wu S.C., Cao Z.H., Li Z.G., Cheung K.C., Wong M.H., 2005, Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125, 155-166.

Young J.L., Davis E.A., Rose S.L., 1985. Endomycorrhizal fungi in breeder wheat and Triticale cultivars field-grown on fertile soil. *Agronomy Journal*, 77, 219-224.

Siti internet consultati:

www.agricoltura24.com, ultima consultazione il 21/05/2015

www.agri.istat.it, ultima consultazione il 25/05/2015

www.ec.europa.eu/eurostat, ultima consultazione il 25/05/2015

www.faostat3.fao.org, ultima consultazione il 10/06/2015;

www.politicheagricole.it, ultima consultazione il 27/05/2015